

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

Vliv elektrické vozby na úložná zařízení

Influence of Electric Railways on Subterranean Constructions

2011

Tomáš Kolek

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne

.....  
Tomáš Kolek

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce *prof. Ing. Josefu Palečkovi, CSc.* a *Ing. Miroslavu Šimečkovi* za cenné rady, odborné vedení a podporující přístup. Poděkování patří také mým rodičům za stálou podporu během studia.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá nepříznivými vlivy elektrické vozby na úložná zařízení. V první části této diplomové práce jsou popsány základní pojmy elektroenergetiky v dopravě, principy elektrochemické koroze železobetonových konstrukcí a rušivé vlivy elektrické vozby. Druhá část popisuje možné způsoby ochrany úložných zařízení před vlivy bludných proudů. Ve třetí a čtvrté části je zpracováno měření na vybraném objektu, a to železničním podchodu ve Studénce.

## **Klíčová slova**

Bludný proud, elektrická vozba, elektrochemická koroze, ochrana úložných zařízení.

## **Abstract**

This graduation theses deals with unfavorable influence of electric railways on subterranean constructions. In the first part of this graduation theses fundamental terms of electricity in transport, principles of electrochemical corrosion of reinforced concrete structures and troublesome effects of electric railways are described. The second part characterizes the possible ways to protect subterranean constructions from the influences of stray current. Measurements on the selected object, namely railway's underpass in Studenka, are presented in the last parts.

## **Key Words**

Stray Currents, Electric Railways, Electrochemical Corrosion, Protection Subterranean Constructions.

## Seznam použitých zkratk

|                 |  |
|-----------------|--|
| A, B, C         | látko vstupující do reakce nebo z ní vystupující |
| aj.             | a jiné   |
| apod.           | a podobně  |
| cca             | přibližně  |
| Cl              | chlór  |
| Cu              | měď  |
| ČD              | České dráhy                                      |
| ČR              | Česká republika                                  |
| ČSN             | česká technická norma                            |
| DC              | stejnoseměrný                                    |
| DC1             | dilatační úsek 1                                 |
| DC2             | dilatační úsek 2                                 |
| DC3             | dilatační úsek 3                                 |
| e               | elektron   |
| EN              | evropská norma                                   |
| Fe              | železo   |
| H               | vodík  |
| HCl             | kyselina chlorovodíková                          |
| např.           | například  |
| O               | kyslík   |
| obr.            | obrázek  |
| SO <sub>4</sub> | síran měďnatý                                    |
| tj.             | to je  |
| TM              | trakční měřična                                  |
| TNS             | trakční napájecí stanice                         |
| tzv.            | takzvané   |
| viz             | odkaz na jiné místo v textu                      |
| vn              | vysoké napětí                                    |
| vvn             | velmi vysoké napětí                              |

## Seznam použitých veličin a jednotek

|                    |   |
|--------------------|---|
| $A$                | ampér   |
| $C$                | kapacita, jednotka F  |
| $E$                | energie, jednotka J   |
| $E_e$              | elektrochemický ekvivalent kovu, jednotka $\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ |
| $e_M$              | podélná elektromotorická síla   |
| $F$                | činitel tvaru, jednotka %   |
| $f$                | frekvence, jednotka Hz  |
| $G$                | vodivost, jednotka S  |
| $g$                | gram  |
| $H$                | intenzita elektrického pole, jednotka $\text{V} \cdot \text{m}^{-1}$                          |
| Hz                 | hertz   |
| h                  | hodina  |
| $I$                | elektrický proud, jednotka A  |
| $J$                | proudová hustota, jednotka $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$                                     |
| $K$                | činitel vyhlazení   |
| $k$                | rychlostní konstanta reakce   |
| kg                 | kilogram  |
| km                 | kilometr  |
| $L$                | indukčnost, jednotka H  |
| $M$                | vzájemná indukčnost, jednotka H   |
| MVA                | megavoltampér   |
| m                  | metr  |
| mm                 | milimetr  |
| $P$                | výkon, jednotka W   |
| $R$                | elektrický odpor, jednotka $\Omega$   |
| S                  | siemens   |
| s                  | vteřina   |
| $U$                | elektrické napětí, jednotka V   |
| V                  | volt  |
| W                  | watt  |
| %                  | procento  |
| $^{\circ}\text{C}$ | stupeň Celsia   |
| $\sigma$           | střední vodivost země   |
| $\tau$             | doba průchodu proudu, jednotka s  |
| $\rho$             | rezistivita, jednotka $\Omega \cdot \text{m}$   |
| $\Omega$           | ohm   |

# Obsah

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Úvod .....</b>  | <b>11</b> |
| <b>1 Elektrochemická koroze železobetonových konstrukcí.....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1 Základní pojmy elektroenergetiky v dopravě.....  | 12        |
| 1.1.1 Dělení hnacích vozidel s elektrickou trakcí.....   | 14        |
| 1.1.2 Dělení trakční napájecí soustavy .....   | 14        |
| 1.2 Zemní proudová pole .....  | 16        |
| 1.2.1 Přirozená zemní proudová pole .....  | 16        |
| 1.2.2 Umělá zemní proudová pole.....   | 17        |
| 1.3 Koroze kovových úložných zařízení .....  | 17        |
| 1.3.1 Chemická koroze .....  | 18        |
| 1.3.2 Elektrochemická koroze .....   | 19        |
| 1.4 Koroze bludnými proudy .....   | 20        |
| 1.4.1 Půda jako korozní prostředí.....   | 20        |
| 1.4.2 Koroze bludnými proudy.....  | 21        |
| 1.5 Rušivé vlivy elektrické vozby .....  | 25        |
| 1.5.1 Elektromagnetické rušení .....   | 25        |
| 1.5.2 Šíření rušení a elektromagnetické vazby .....  | 26        |
| 1.5.3 Vnitřní zdroje elektromagnetického šumu specifických pro elektrizované dráhy.....                  | 27        |
| 1.5.3.1 Statické prvky .....   | 27        |
| 1.5.3.2 Pohyblivé prvky.....   | 28        |
| 1.5.3.3 Pomocné výkonové měniče .....  | 28        |
| 1.5.3.4 Zpětný trakční proud s ohledem na kolejové obvody .....  | 28        |
| 1.5.3.5 Traťové zařízení.....  | 29        |
| 1.5.4 Rušení sdělovacích vedení stejnosměrným trakčním systémem .....                                    | 29        |
| 1.5.5 Elektromagnetický vliv na sdělovací vedení vlivem střídavého trakčního proudu .....                | 30        |
| 1.5.5.1 Rušivý vliv silových vedení na telefonní vedení.....   | 30        |
| 1.5.5.2 Výpočet elektromagnetického vlivu .....  | 31        |
| <b>2 Ochrany úložných zařízení.....</b>  | <b>33</b> |
| 2.1 Možnosti omezení vzniku bludných proudů .....  | 33        |
| 2.2 Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami..... | 34        |
| 2.2.1 Pasivní ochrana.....   | 34        |
| 2.2.2 Aktivní ochrana .....  | 34        |
| 2.2.2.1 Elektrická drenáž .....  | 34        |
| 2.2.2.2 Katodická ochrana s úložnou anodou .....   | 35        |
| 2.2.2.3 Ochrana reakční (obětní) anodou.....   | 36        |



|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>3</b> | <b>Měření na vybraném objektu.....</b>                            | <b>37</b> |
| 3.1      | Postup při měření potenciálu na vybraném objektu .....            | 37        |
| 3.1.1    | Měřením spojitosti dilatačních celků.....                         | 38        |
| 3.1.2    | Měření potenciálu podchod-zem, kolej – zem.....                   | 38        |
| 3.2      | Použité měřicí přístroje .....                                    | 39        |
| 3.2.1    | Měřič zemních odporů PU183.....                                   | 39        |
| 3.2.2    | Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO <sub>4</sub> .....          | 39        |
| 3.2.3    | Systém KORODAT .....  | 41        |
| <b>4</b> | <b>Vyhodnocení měření .....</b>                                   | <b>42</b> |
| 4.1      | Časové průběhy potenciálu DC – elektroda.....                     | 42        |
| 4.1.1    | Časový průběh potenciálu DC1 – elektroda .....                    | 42        |
| 4.1.2    | Časový průběh potenciálu DC2 – elektroda .....                    | 43        |
| 4.1.3    | Časový průběh potenciálu DC3 – elektroda .....                    | 43        |
| 4.2      | Časový průběh potenciálu kolej – elektroda .....                  | 44        |
| 4.3      | Návrh ochranných opatření pro omezení vlivu bludných proudů ..... | 44        |
| 4.3.1    | Primární ochrana .....  | 45        |
| 4.3.2    | Sekundární ochrana .....  | 45        |
| 4.3.3    | Konstrukční opatření .....  | 45        |
|          | <b>Závěr .....</b>  | <b>47</b> |
|          | <b>Literatura .....</b>   | <b>48</b> |

## Úvod

Železniční doprava na území České republiky má své počátky již v první třetině 19. století. První železnici se stala v roce 1828 koněspřežná dráha *Linz – Summerau – Horní Dvořiště – České Budějovice*.

Vývoj elektrizace železnic v České republice začal v roce 1903 dráhou *Tábor – Bechyně*, délky 26 km.

V roce 1957 byl spuštěn provoz *Praha – Česká Třebová* napájen stejnosměrnou trakční soustavou 3 kV. Stejnosměrné napájení se dnes používá na severní části České republiky.

V roce 1961 byl spuštěn provoz *Plzeň – Horažďovice* napájen střídavou trakční soustavou 25 kV, 50 Hz. Střídavé napájení se dnes používá v jižní části České republiky.

Délka železniční sítě České republiky k 31. prosinci 2006 činila 9492 km. Elektrizovaných tratí je celkem 3037 km, z toho je 1731 km elektrizováno stejnosměrným systémem a 1307 km je elektrizováno střídavým systémem. [22]

Problémem drah elektrizovaných stejnosměrným systémem je elektrochemická koroze bludnými proudy. Koroze kovových materiálů uložených v zemi (liniová potrubí, kabely, mosty, nádrže atd.) v blízkosti elektrizovaných drah představuje velký problém nejen z hlediska technického, ale i ekonomického. Především je snaha vhodnými technologickými opatřeními minimalizovat vytváření stejnosměrných proudových polí, což znamená minimalizovat únik stejnosměrných proudů z kolejnic, používaných jako vodič proudu, do země. Takovýto proud, který vniká do země vlivem kolejnice nedostatečně izolované od země, nazýváme bludný proud. Bludný proud může dosáhnout až 60 % celkového trakčního proudu v závislosti na vodivosti půdy. Stejnosměrné proudy tečou cestou nejmenšího odporu a podle vodivosti zeminy se rozšiřují do velkých vzdáleností (řádově stovky metrů až kilometry) od vedení, kterým by měly téci. Čím menší je vodivost půdy, tím větší teritorium zasahují, a naopak při dobré vodivosti půdy je jejich rozptyl menší.

# 1 Elektrochemická koroze železobetonových konstrukcí

## 1.1 Základní pojmy elektroenergetiky v dopravě

**Elektrická trakce** – je pohon hnacího vozidla, kolejového i nekolejového, elektromotorem, kterému říkáme trakční motor.

**Elektrická vozba** – Provoz vozidel s elektrickou trakcí na elektrizovaných drahách nazýváme elektrická vozba. U těchto drah je přívod elektrické energie zprostředkován trakčním vedením.

**Trakční vedení** – je traťové vedení vedoucí proud k elektrickým vozidlům.

**Trolejové vedení** – je přívodní trakční vedení, jehož hlavní část je tvořena trolejovým drátem.

**Trakční napájecí stanice (TNS)** – je zařízení, jehož hlavní funkcí je napájení trakčního vedení a ve kterém je napětí primární napájecí soustavy, a v určitých případech i frekvence, převáděno na napětí a frekvenci v trakčním vedení.

**Spínací stanice** – je zařízení, ze kterého může být elektrická energie rozváděna do různých napájecích úseků, nebo ze kterého mohou být napájené úseky vypínány či zapínány, nebo navzájem propojovány.

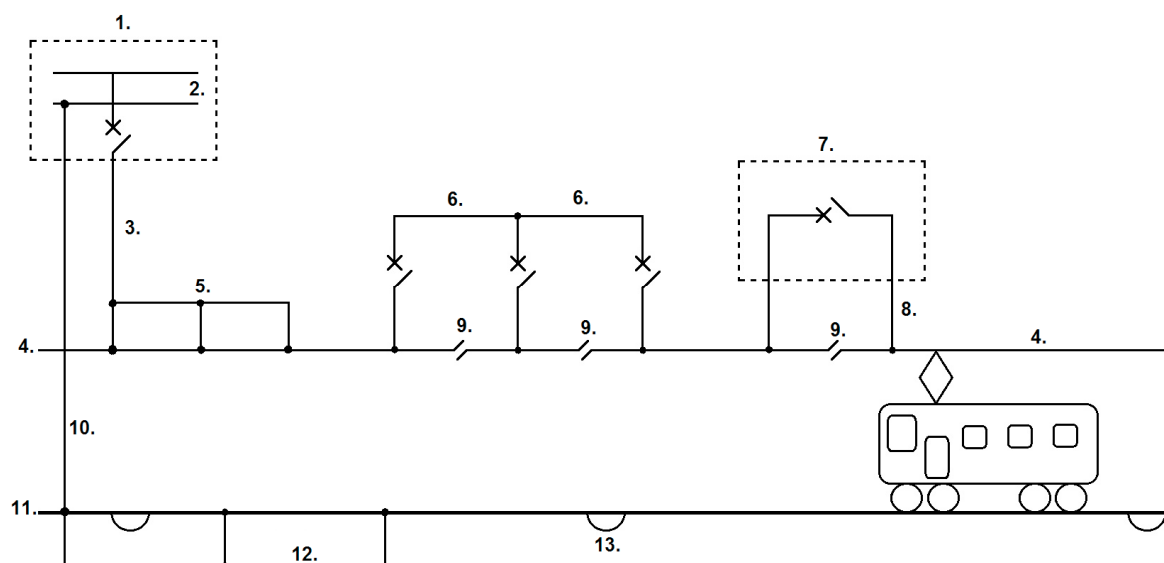
**Zesilovací vedení** – je vedení umístěné na stejné konstrukci jako trolejové vedení a přímo k němu připojené v určitých vzdálenostech z důvodu zvětšení efektivního průřezu.

**Klikatost** – je úmyslná odchylka trolejového drátu v místě závěsu, která zajišťuje stejnosměrné opotřebení smýkadla pantografu.

**Úsekový dělič** – je zařízení, kterým se izolačně oddělují elektrické úseky ve sjízdných částech trolejového vedení.

**Trakční obvod** – je systém technických zařízení, umožňující spolehlivé a bezpečné napájení hnacích vozidel závislé elektrické trakce. Mezi součásti trakčního obvodu patří napájecí stanice, trakční vedení, spínací stanice apod. [4], [7]

Schematicky je trakční obvod znázorněn na obrázku 1.



Obr. 1. Schéma trakčního obvodu.

Popis schématu trakčního vedení:

1. Trakční napájecí stanice (TNS).
2. Přípojnice (sběrnice).
3. Napájecí vedení.
4. Trolejové vedení.
5. Zesilovací vedení.
6. Obcházecí vedení.
7. Spínací stanice.
8. Spínací vedení.
9. Sjízdne úsekové děliče (izolační spojka).
10. Odváděcí vedení (zpětné kabely).
11. Kolejnicové vedení (kolejnice).
12. Pomocné zpětné vedení.
13. Kolejnicové svorky. [4]

### 1.1.1 Dělení hnacích vozidel s elektrickou trakcí

#### a) Podle závislosti na přívodu elektrické energie

- Vozidla s elektrickou trakcí *závislou* – tramvaj, trolejbus.
- Vozidla s elektrickou trakcí *nezávislou* – dieselelektrické vozy.

#### b) Podle přenosu trakční síly

- Vozidla *adhezní* – trakční síla se přenáší mezi kolem vozidla a kolejnicí adhezí. Tato vozidla mohou překonávat stoupání řádově jednotek až desítek promile.
- Vozidla *ozubnicová* – trakční síla je přenášena přes pastorek umístěný na vozidle, který zapadá do hřebenu umístěného mezi kolejnicemi. Takto vybavená vozidla mohou překonávat stoupání stovek promile.
- Vozidla *nekonvenční* – do této kategorie lze zařadit lanové dráhy nebo nové vysokorychlostní vlaky pohybující se po tzv. magnetickém polštáři, známými pod názvem maglev.

#### c) Podle rozchodu kolejnic

- Vozidla s *normálním* rozchodem – 1435 mm. Používáno v České republice.
- Vozidla *širokorozchodná* – 1520, 1600, 1620 mm.
- Vozidla *úzkorozchodná* – 600, 650, 700, 750, 900, 1000, 1067 mm.

### 1.1.2 Dělení trakční napájecí soustavy

#### a) Stejnosměrná napájecí soustava

- 250 V – Dráhy hlubinných dolů.
- 600 V – Dráhy městské hromadné dopravy.
- 750 V – Napájení metra nebo trolejbusů.
- 1500 V – Průmyslové a vedlejší dráhy ČD.
- 3000 V – Hlavní dráhy ČD. Elektrizace severní části České republiky. [4]

Protože trolejové vedení není dokonalý vodič s nulovým odporem, vzniká průchodem proudu trolejovým drátem úbytek napětí. Proto byla zavedena tolerance jmenovitého napětí a v tomto rozmezí musí trakční vozidlo spolehlivě fungovat. Tolerance je +20 % a –33 %. Při jmenovitém napětí 3000 V stejnosměrných je rozmezí od 2010 V do 3600 V.

Napětí 3 000 V představuje hranici stejnosměrné soustavy. Vyšší napětí by bylo obtížně zvládnutelné jak z hlediska izolačního stavu trakčního obvodu včetně motorů, tak i napětí mezi lamelami komutátorů trakčních motorů. Nakonec i pro moderní polovodičové prvky představuje toto napětí mez.

Výhodou tohoto systému je jednoduchost vozidel, snadná rekuperace a využití rekuperované energie. Dále je zde omezení přenášeného výkonu limitem proudu, který je schopná tato soustava přenést k vozidlu. Hlavním problémem u této soustavy je tok bludných proudů v okolí tratě a tedy i nutnost chránit kovová potrubí, železobetonové konstrukce a jiná úložná zařízení před účinky bludných proudů.

Průřez trolejového drátu je proti střídavé soustavě větší, avšak ani tak není schopná přenést srovnatelný výkon. [3]

#### ***b) Střídavá napájecí soustava***

- 25 kV, 50 Hz. Elektrizace jižní části České republiky.
- 50 kV, 50 Hz

Dovolená tolerance u střídavé trakční napájecí soustavy je +10 % a –20 % jmenovitého napětí.

Střídavé napájení vykazuje nejmenší ztráty způsobené přenosem elektrické energie, dá se snadno transformovat. Dnešní moderní lokomotivy jsou vybaveny asynchronními motory s frekvenčními měniči, není proto problém s regulací otáček a výkonu přímo v ovládacím a řídicím systému trakčního vozidla.

#### ***c) Střídavá trakční soustava sníženého kmitočtu***

- 15 kV,  $16 \frac{2}{3}$  Hz (16,7 Hz)

Střídavé napětí o frekvenci  $16 \frac{2}{3}$  Hz bylo pro napájení kolejových vozidel zavedeno ve Švýcarsku, Německu a Rakousku počátkem 20. století. Důvody byly technické – tuto frekvenci lze totiž ještě stále transformovat za použití běžných transformátorů (transformátor je pouze větší, protože musí být vybaven větším a hmotnějším magnetickým obvodem, který je vyroben především ze železa). Navíc je možno takto nízkou frekvenci ještě přímo použít pro napájení stejnosměrných elektrických motorů bez použití usměrňovače.

Příčinou, proč komutátorový motor komutuje podstatně hůř při střídavém napájení, než při stejnosměrném, je transformační napětí, které se v kotvě indukuje od časově proměnného pole hlavních pólů. Usměrnovat na lokomotivě střídavý proud na stejnosměrný nebylo dříve vůbec

snadné, byla k tomu potřeba těžká a rozměrná rotační soustrojí (motorgenerátory) nebo rtuťové usměrňovače, které potřebovaly ke svému provozu vysoký stupeň vakua.

Proto byl kmitočet střídavého napájecího napětí snížen třikrát. V Evropě z obvyklých 50 Hz na jednu třetinu, tedy na  $16\frac{2}{3}$  Hz. Celočíslný poměr 3 byl zvolen z důvodu realizace rotačních konvertorů, a to na bázi šestipólového synchronního motoru a dvoupólového alternátoru. Snížení kmitočtu na jednu třetinu se ukázalo jako rozumný kompromis mezi zvětšením rozměrů transformátorů (ke kterému pochopitelně došlo) a zlepšenou komutací trakčních motorů, které bylo dosaženo s vynálezem komutačních pólů. Nižší kmitočet se též příznivě projevil ve snížení impedance trakčního vedení a spolu s použitím dostatečně vysokého napětí napomohl ke snížení počtu napájecích stanic, neboť ty jsou díky poměrně malým úbytkům napětí schopny napájet poměrně dlouhé úseky.

Použití této frekvence přináší i nevýhodu, a to nutnost budovat speciální jednofázové elektrárny určené pouze pro tyto účely, či instalovat rotační měniče nebo polovodičové měniče z běžné síťové frekvence 50 Hz na výrobu trakčního napětí o frekvenci  $16\frac{2}{3}$  Hz. [3]

## 1.2 Zemní proudová pole

### 1.2.1 Přirozená zemní proudová pole

Elektrické pole v zemi je výsledkem skládání regionálních elektrických polí (elektrotelurické pole), zabírající celý povrch Země či jeho podstatné části a lokálních elektrických polí, která se rozprostírají na poměrně malém úseku zemského povrchu. Důsledkem regionálních elektrických polí jsou elektrické proudy v zemi.

V půdě se tedy setkáváme s přirozenými proudy, které nazýváme zemskými nebo také telurickými proudy. Tyto zemské proudy vznikají samovolně elektrochemickou aktivitou hornin (např. ložiska kovových rud, grafitu, pyritu, kamenného uhlí). Jedná se o galvanické články vzniklé oxidací ložisek kovových rud. Tyto proudy jsou slabé a jejich šíření zřídka překračuje několik stovek metrů. Intenzita elektrického pole těchto článků může být  $10\text{ mV}\cdot\text{m}^{-1}$ , což představuje v půdě o měrném odporu  $100\text{ }\Omega\cdot\text{m}$  proudovou hustotu  $0,1\text{ mA}\cdot\text{m}^{-2}$ .

Významnější proudy jsou způsobeny indukčními jevy v zemském magnetickém poli. Magnetické pole Země se tvarem podobá magnetickému poli homogenně zmagnetizované koule, jejíž osa svírá s osou Země  $11,5^\circ$ . Magnetické pole Země je v každém bodě charakterizováno velikostí a směrem totálního vektoru magnetické intenzity. Podle původu můžeme magnetické pole Země rozdělit na *vnitřní (permanентní) geomagnetické pole*, které podléhá pomalým změnám – sekulárním variacím (dlouhodobé změny magnetického pole, které jsou pravděpodobně způsobeny hydrodynamickými pohyby v zemském nitru), a jejichž příčiny leží uvnitř zemského tělesa, a na *vnější (proměnné) geomagnetické pole* (pulsace, zálivové poruchy, bouře), kvantitativně

několik málo procent velikosti permanentního pole, jehož příčiny jsou vně zemského tělesa (elektrické proudy ve vysokých vrstvách atmosféry a dále). [5]

### 1.2.2 Umělá zemní proudová pole

Vznik umělých zemních proudových polí je úzce svázán se vznikem bludných proudů. Bludnými proudy nazýváme proudy, které se dostanou do půdy vlivem nedostatečné od země izolovaného vodiče nebo ze zařízení, které užívají zem jako zpětný vodič. Tyto proudy vytvářejí zemní proudová pole, která jsou z hlediska vzniku elektrochemické koroze úložných zařízení nejnebezpečnější. Stejnosměrné proudy tečou cestou nejmenšího odporu a podle vodivosti zeminy se rozšiřují do velkých vzdáleností (řádově stovky metrů až kilometry) od vedení, kterým by měly téci. Čím menší je vodivost půdy, tím větší teritorium zasahují a naopak, při dobré vodivosti půdy je jejich rozptyl menší. Název bludné proudy dostaly proto, že jejich tok není možné přesněji stanovit.

U zařízení střídavého proudu je situace poněkud odlišná. Zde existuje elektromagnetická vazba mezi vrchním vedením (nadzemním vedením) a proudy tekoucími zemí, to znamená, že proud v zemi přibližně kopíruje trasu nadzemního vedení. I pro tyto proudy se ovšem v literatuře užívá termín střídavé bludné proudy.

#### Nejčastějšími zdroji stejnosměrných bludných proudů jsou:

- stejnosměrné elektrizované železnice, městské dráhy, metro, využívající jako zpětných vodičů pro trakční proud kolejnic, které jsou nedostatečně izolované od země (zvláště tam, kde přechodový odpor mezi kolejí a zemí je menší než předepsaný  $r_p = 0,5 \Omega \cdot m$ ),
- stejnosměrné rozvody v průmyslových podnicích, kde se pracuje s elektrickými svářecími agregáty,
- zařízení na aktivní ochranu proti korozi (zdroje vnějšího stejnosměrného proudu katodické ochrany, elektrické drenáže a saturáže – jde o interferenční proudy pro podzemní zařízení nepřipojená na společnou ochranu). I z tohoto důvodu je nutné projektovat aktivní ochranu komplexně, tedy pro všechna úložná zařízení v dané oblasti společně. [5]

### 1.3 Koroze kovových úložných zařízení

Koroze kovu znamená rozrušení kovu přeměnou v různé sloučeniny chemickou nebo elektrochemickou reakcí. Tento proces působením okolního prostředí je přirozeným jevem. Kovy se snaží přejít do stavu, ve kterém se vyskytují v přírodě, tj. ve své sloučeniny, jako jsou kyslíčníky, siřičky, uhličitany apod.



Nejrozšířenějším korozním prostředím je atmosféra. Jejím trvalému působení je vystavena většina výrobků. Technicky významná je i řada dalších prostředí. K nim patří půdy, do kterých jsou uložena zařízení (např. kabelové spoje), přírodní vody, které mohou působit agresivně (zejména mořská voda), průmyslová prostředí s vysokou korozní agresivitou (v chemickém průmyslu, v potravinářském průmyslu i jinde), plynná prostředí působící za vysokých teplot a tlaků (syntézní plyny, spaliny), vodní pára, roztavené kovy a další. [1], [2]

### Korozi dělíme podle dvou hledisek:

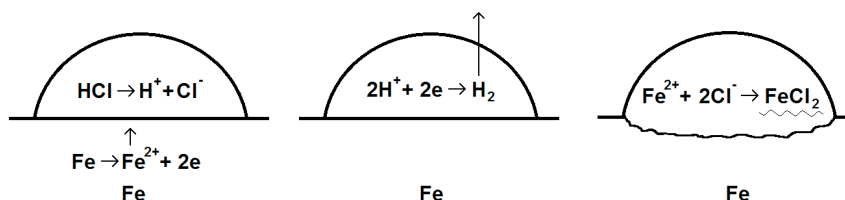
a) z hlediska mechanismu koroze na korozi chemickou, elektrochemickou a korozi bludnými proudy,

b) z hlediska typu prostředí, ve kterém ke korozi dochází, na korozi v elektricky vodivých prostředích a korozi v elektricky nevodivých prostředích.

#### 1.3.1 Chemická koroze

U chemické koroze kovů jde o oxidaci, při níž se atomy kovů mění v ionty. Koroze pokračuje, je-li oxid v okolí rozpustný. Pokud je vznikající oxid v prostředí nerozpustný, koroze ustává v důsledku vzniklé vrstvy oxidu.

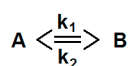
Vzniklá vrstva oxidu pak tvoří samovolnou ochranu kovu, např. u hliníku nebo zinku. Jestliže se při reakci vytvářejí rozpustné reakční produkty, pak se reakce zpomaluje úměrně s tím, jak se agresivní látka spotřebovává. Jako příklad je na obrázku 2 uvedeno napadení povrchu železa kapkou kyseliny chlorovodíkové HCl.



Obr. 2. Koroze železa účinkem kyseliny chlorovodíkové HCl.

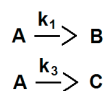
### Existují tři základní typy reakce při chemické korozi:

a) *Reakce vratné* – reakce probíhá ve směru přímém i zpětném.

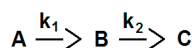


Kde  $k$  je rychlostní konstanta reakce ( $\text{s}^{-1}$ ),  $A$ ,  $B$  je látka vstupující do reakce nebo z ní vystupující.

b) *Reakce bočné* – reakce probíhá jako dva nebo více nezávislé děje, které mají společné výchozí látky.



c) *Reakce následné* – u této reakce je produkt první reakce výchozí látkou reakce následné.



Chemická koroze probíhá vždy na rozhraní fází, a proto se nazývá reakce heterogenní. Podle reagujících fází dělíme korozní reakce do *tří základních skupin*:

- reakce pevná látka (kov) – kapalina,
- reakce pevná látka (kov) – plyn,
- reakce pevná látka (kov) – pevná látka. [2]

### 1.3.2 Elektrochemická koroze

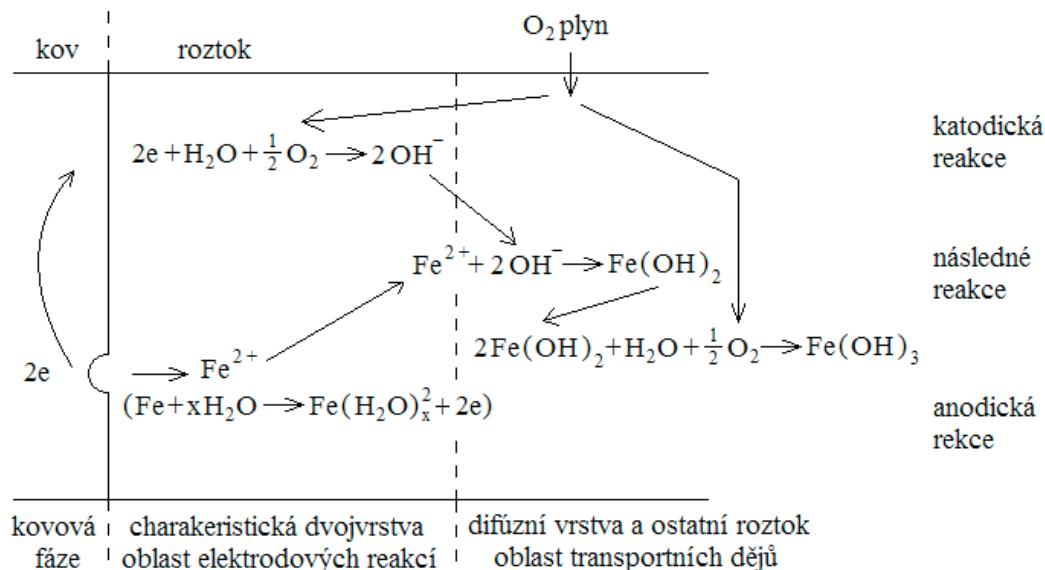
Tento proces probíhá za přítomnosti elektrického proudu. Proud je buď do reakce přiváděn z vnějšího zdroje, nebo se při uvedené reakci vyrábí. Předpokladem pro vznik elektrochemické koroze je elektrolytická disociace a vznik kationtů a aniontů ve vodných roztocích. Soli, kyseliny a zásady jsou ve vodných roztocích disociovány v kationty a anionty.

Každá korozní reakce zahrnuje dvě dílčí reakce – anodickou a katodickou. Anodická reakce odpovídá oxidaci kovu, a tedy vlastní korozi. Katodická reakce odpovídá současné redukci některé oxidující složky obsažené v roztoku; tato reakce se nazývá reakcí depolarizační. Obě reakce jsou na sebe vázány a nemohou samostatně probíhat, pokud elektrodou (korodujícím kovem) neprochází žádný vnější proud.

Vzájemná závislost obou reakcí je dána požadavkem zachování elektroneutality. Jestliže anodická reakce je zdrojem elektronů, pak katodická reakce musí právě stejné množství elektronů spotřebovávat; jinak by docházelo ke hromadění elektrického náboje.

Souhrn základních dějů probíhajících při korozi kovu v roztoku (železa v neutrálním prostředí) je schematicky znázorněn na obrázku 3. Přímou na povrchu kovu (elektrické dvojvrstvě) probíhají vlastní elektrodové reakce – anodická a katodická. V difúzní vrstvě a dále od povrchu elektrody probíhají transportní děje difúzní a konvekční, jež zajišťují přísun látek z roztoku a odvod reakčních produktů od povrchu kovu, čímž umožňují trvalý průběh korozního děje. Pokud reakce

anodická a katodická probíhají na odlišných místech povrchu kovu (korozní články), je jejich průběh provázen průchodem elektrického proudu jednak kovem, jednak roztokem. [2]



Obr. 3. Schematické znázornění dějů při korozi kovu v roztoku.

## 1.4 Koroze bludnými proudy

### 1.4.1 Půda jako korozní prostředí

Půda se skládá z plyné, kapalně a tuhé fáze. Plynou fází tvoří půdní atmosféra, která se v důsledku mikrobiální činnosti liší od složení ovzduší. Obsah kyslíku bývá nižší (10 až 20 %), zatímco obsah dusíku (78 až 80 %) i kyslíčnicku uhličitého (0,1 až 10 %) je zvýšen.

Půda je polydisperzní systém. Podle zrnitosti (zastoupení pískových a jílových zrn) se půdy dělí na tři základní druhy: písčité, hlinité a jílovité. Propustnost pro vodu v uvedeném pořadí klesá.

Zákonitosti vzniku a funkce korozních článků v podstatě zůstávají v platnosti i pro vývoj koroze v půdě. Zatímco elektrolyty lze obvykle považovat za homogenní a stejnorodé prostředí, vyznačují se půdy nestejnorodostí, a musí se posuzovat jako složitá soustava mechanicky, fyzikálně i chemicky se lišících komponent. Proto rychlost koroze v půdě závisí nejen na vzniku mikročlánků, v důsledku nestejnorodosti povrchu samotného kovu, ale ve značné míře i na mikročláncích vznikajících strukturální nestejnorodostí půdy, především však na makročláncích vznikajících v důsledku rozdílné propustnosti kyslíku v jednotlivých místech půdy. Makročlánky tohoto typu vznikají zejména na liniových kovových konstrukcích, které procházejí půdami s různými fyzikálněchemickými vlastnostmi. Velké změny kyslíkové propustnosti půd podél konstrukce způsobují vytváření elektrodových potenciálů kovu a vznik proudu v obvodu makročlánku. Korozní procesy probíhají převážně s kyslíkovou depolarizací

v elektrolytu. Velikost proudu i jeho rozložení na povrchu konstrukce závisí na měrném odporu půdy a na jejích polarizačních charakteristikách. Při nízkém měrném odporu půdy může korozní proud makročlánek dosáhnout poměrně značných hodnot a způsobit narušení konstrukce v místech s malou kyslíkovou propustností.

Koroze v půdě a zeminách je v podstatě výsledkem současně probíhajících elektrochemických reakcí všech makročláneků a mikročláneků. Mikročlánek je velmi malý korozní článek, u nichž je měření elektrických veličin uvnitř článku nemožné. U makročláneků je vzdálenost nebo velikost anody a katody řádově od několika milimetrů do několika set metrů. Pro činnost makročláneků má podstatný význam měrný odpor půdy; při vyšších hodnotách mají funkční makročlánek větší rozměry.

Nebezpečí korozního napadení vzrůstá s rozměry zařízení, zejména s jeho délkou. U liniových konstrukcí (potrubí, kabelů) je toho ohrožení největší. [6], [9]

#### **1.4.2 Koroze bludnými proudy**

Bludným proudem se nazývá elektrický proud procházející zemí, který uniká z uzemněných elektroenergetických zařízení a mění směr a velikost.

**Podle normy ČSN EN 50122-2 za systémy produkující bludné proudy musejí být považovány:**

- stejnosměrné trakční proudové soustavy využívající kolejnice k vedení zpětného trakčního proudu a kolejové úseky jiných trakčních proudových soustav, které jsou spojeny s kolejemi stejnosměrných trakčních proudových soustav;
- stejnosměrné trakční proudové soustavy trolejbusů, napájené elektrickou energií ze stejné proudové soustavy jako soustavy využívající kolejnice k vedení zpětného trakčního proudu;
- stejnosměrné trakční proudové soustavy, které nepoužívají kolejnice k vedení zpětného trakčního proudu.

**Podle normy ČSN EN 50122-2 za systémy, které mohou být ovlivněny bludnými proudy, musí být považovány:**

- kovová potrubí;
- kabely s pancířem a kovovým pláštěm;
- cisterny a nádrže;
- uzemňovací soustavy;

- železobetonové konstrukce;
- kovové konstrukce uložené v zemi;
- ostatní katodická ochranná zařízení;
- signalizační a telekomunikační systémy.

Bludný proud využívá země a úložných zařízení jako zpětného vodiče, přičemž koroze nastává v místech (např. na podzemním potrubí), kde elektrický proud přechází z úložného zařízení do země a vrací se ke zdroji. Rychlost přecházení kovových iontů v anodických místech do elektrolytu (půdy) je dána Faradayovým zákonem (vztah 1.1):

$$M = E_e \cdot I \cdot \tau \quad (\text{kg}), \quad (1.1)$$

kde  $M$  ... množství vyloučeného kovu (kg),

$E_e$  ... elektrochemický ekvivalent kovu ( $\text{kg} \cdot \text{A}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ),

$I$  ... průměrný bludný proud (A),

$\tau$  ... doba průchodu proudu (h).

Například ztráta kovu způsobená elektrochemickou korozí při protékání stejnosměrného proudu o velikosti 1 A po dobu jednoho roku způsobí:

u železa:  $M_{Fe} = 2,89 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 9,1 \text{ kg}$ ,

u olova:  $M_{Pb} = 10,73 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 33,8 \text{ kg}$ ,

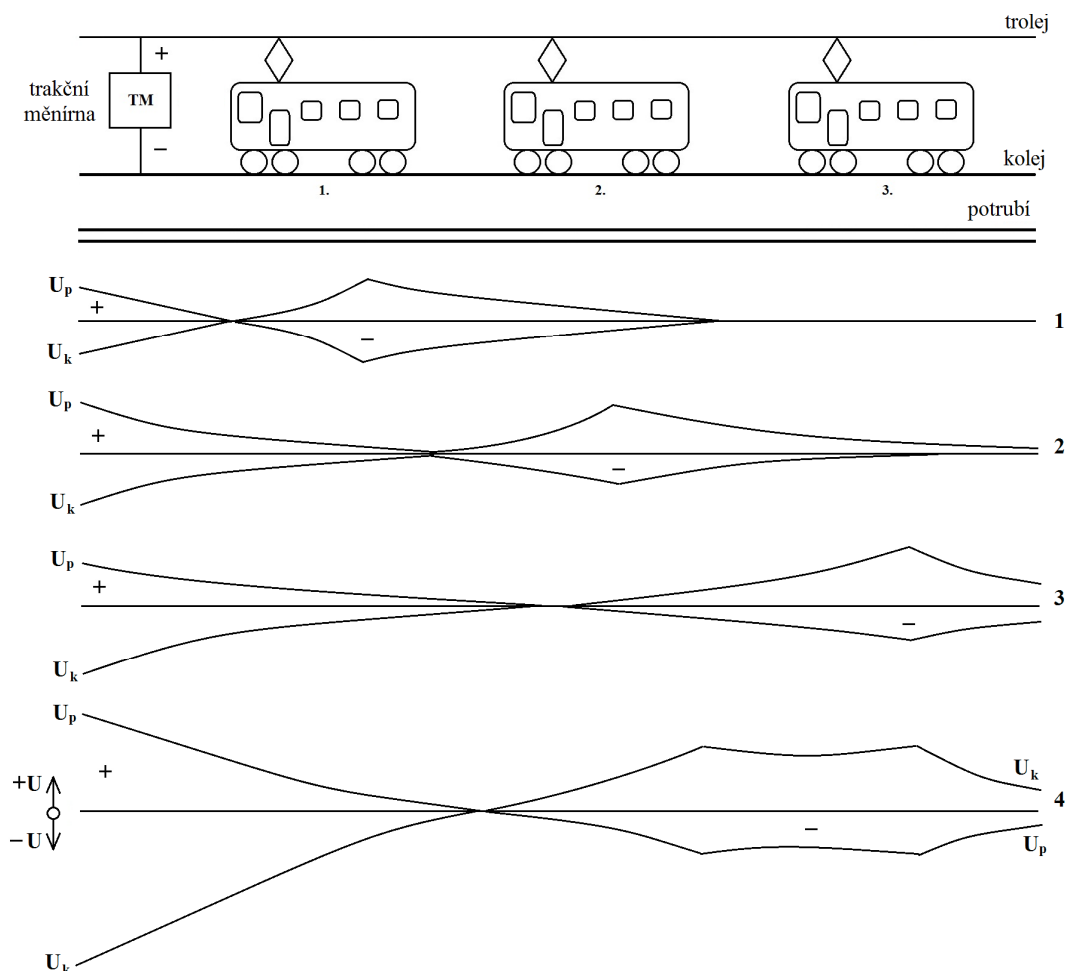
u hliníku:  $M_{Al} = 0,93 \cdot 10^{-7} \cdot 1 \cdot 60 \cdot 60 \cdot 24 \cdot 365 = 2,93 \text{ kg}$ .

Vztah 1.1 platí pro stejnosměrné bludné proudy. Pro střídavé bludné proudy jsou korozní ztráty podstatně nižší. Při hustotě proudu  $J = 1 \text{ A} \cdot \text{m}^{-2}$  je korozní úbytek při stejnosměrném proudu  $k = 1 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ , zatímco pro proud o frekvenci 0,5 Hz je to třicetkrát méně a pro frekvenci 50 Hz je to pouze 1 % korozní rychlosti stejnosměrného proudu. Nicméně se pro korozi oceli uvádí kritérium maximální bezpečné hustoty střídavého proudu (vztah 1.2).

$$j < a \cdot f^{0,56}, \quad (1.2)$$

kde  $j$  je hustota proudu ( $\text{mA} \cdot \text{dm}^{-2}$ ),  $f$  je kmitočet proudu (Hz),  $a$  je konstanta závislá na přípustné velikosti zeslabení oceli účinkem střídavého proudu a např. pro úbytek  $0,086 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$   $a = 46,7$ . Při tomto přípustném úbytku není podle tohoto vztahu střídavý proud frekvence 50 Hz korozně nebezpečný, pokud není překročena hustota proudu  $400 \text{ mA} \cdot \text{dm}^{-2}$ .

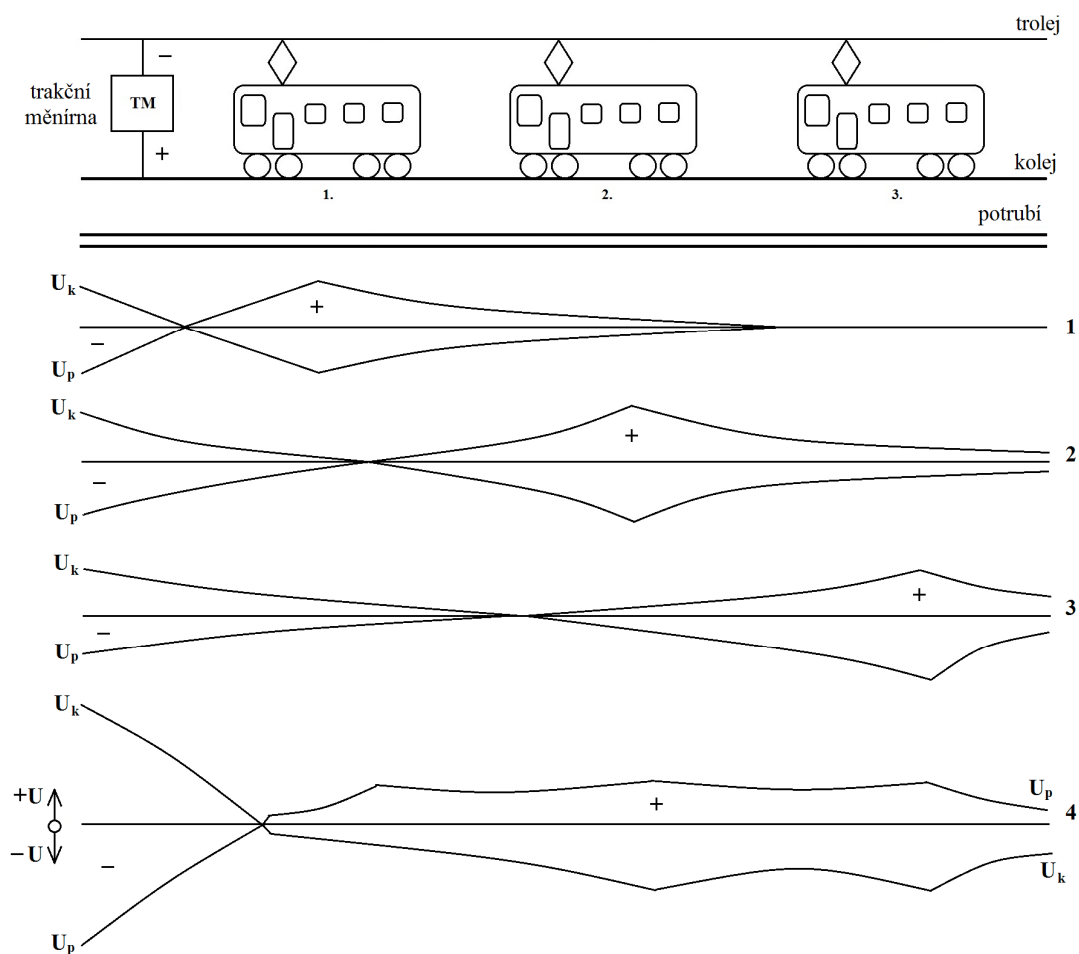
Největším a nejnebezpečnějším zdrojem bludných proudů je kolejová doprava se stejnosměrným trakčním systémem. Diagramy (obrázek 4) na osách 1, 2, 3 odpovídají jednotlivým elektrickým vlakům a jejich poloze v uvažovaném okamžiku. Na ose 4 je výsledný průběh potenciálu koleje a potrubí proti zemi. Největší koroze bude v oblasti měnirny.



Obr. 4. Průběhy potenciálu “kolej - země” a “potrubí - země” při jízdě vlaku a záporné polaritě kolejí.

$U_k$  ... potenciál koleje – země;  $U_p$  ... potenciál potrubí – země; 1, 2, 3 ... poloha lokomotivy proti měnirně; 4 ... souhrnné rozložení potenciálu v uvažovaném úseku.

U železnic a většiny městské dopravy má trolej kladnou polaritu, ale v některých městech je tomu obráceně (Ostrava, Brno aj.). Pak je anodické pásmo proměnlivé podle pohybu elektrické lokomotivy (obrázek 5). Maximální hodnota anodického potenciálu bude tam, kde je elektrický vlak ve sledovaném okamžiku, a tedy ohrožení potrubí korozí je nejintenzivnější.



Obr. 5. Průběhy potenciálů “kolej - země” a “potrubí - země” při jízdě vlaku a kladné polaritě kolejí.

Při značných délkách kolejnic (u železnic je vzdálenost mezi měnírny asi 20 km) více či méně vodivě spojených se zemí může trakční proud vyvolat poměrně velký úbytek napětí ohmickým odporem kolejí, který vůči úbytku na odporu přechodu kolej – země není zanedbatelný. Půda tedy vytváří (podélnému odporu) kolejím bočník, kterým teče proud daný Kirchhoffovými zákony.

Na korozně ohroženém podzemním vedení jsou tři oblasti.

*Katodická oblast* je v místech vstupu proudu do podzemního ocelového vedení – není korozně ohrožena, může však docházet k porušení izolačního povlaku vlivem katodické polarizace.

*Neutrální oblast* je v místech, kde proudy tečou podzemním ocelovým vedením – ani do něj nevstupují a z něj nevystupují.

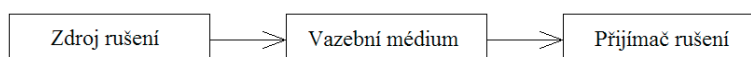
*Anodická oblast* je v místech výstupu proudu z liniové konstrukce – zde vzniká vlastní koroze. [6], [8], [9]

## 1.5 Rušivé vlivy elektrické vozby

### 1.5.1 Elektromagnetické rušení

Tento jev lze obecně posuzovat jako nežádoucí ovlivňování normální funkce elektrického nebo elektronického zařízení elektromagnetickou energií vyzařovaném v kmitočtovém spektru od 0 Hz až po desítky GHz.

Každý systém nebo zařízení, nebo jejich určitá část, může být současně jak vysílačem (zdrojem), tak i přijímačem rušení. Přitom zdroj a přijímač jsou vždy mezi sebou vázány parazitní vazbou.



Obr. 6. Obecné schéma působení elektromagnetického rušení.

*Zdroje rušení* mohou být umělé nebo přirozené. Mezi umělé zdroje rušení patří: motory, spínače, relé, stykače, výkonové polovodičové měniče, zářivky, počítače, číslicové systémy, spalovací motory atd. Přirozeným zdrojem rušení jsou atmosférické přepětí nebo Slunce.

*Vazební médium* tvoří vzdušný prostor, energetická soustava (kabely, vodiče, zemnění, stínění), parazitní elektromagnetické vazby (galvanická, indukční, kapacitní, vyzařování elektromagnetického pole).

*Přijímačem rušení* jsou citlivé měřicí přístroje, počítače, číslicová technika, automatizační prostředky, telekomunikační soustavy, systémy přenosu dat.

Z provozních důvodů používá dráha elektrické systémy, které vyžadují velmi vysoké výkony (až do několika MVA) a výkonové elektronické systémy, které jsou charakterizovány svou nelinearitou (produkují harmonické). Dráha je integrovaný systém, ve kterém má elektrická energie kromě pohonného účelu mnoho dalších použití, včetně následujících:

- vytápění, klimatizace, napájení zařízení pro přípravu jídel a osvětlení osobních vozů;
- sdělovací a zabezpečovací systémy pro řízení železniční dopravy;
- počítačové instalace v řídicích centrech, které jsou spojeny trasami podél tratí;
- informační systémy pro cestující ve vozech, ve stanicích a depech;
- napájení akumulátorových hnacích vozidel.

Z toho vyplývá, že problémy elektromagnetické kompatibility vyvstávají nejen uvnitř lokomotiv a jejich napájení, ale i v těchto propojených systémech. Nezávislá vozba,



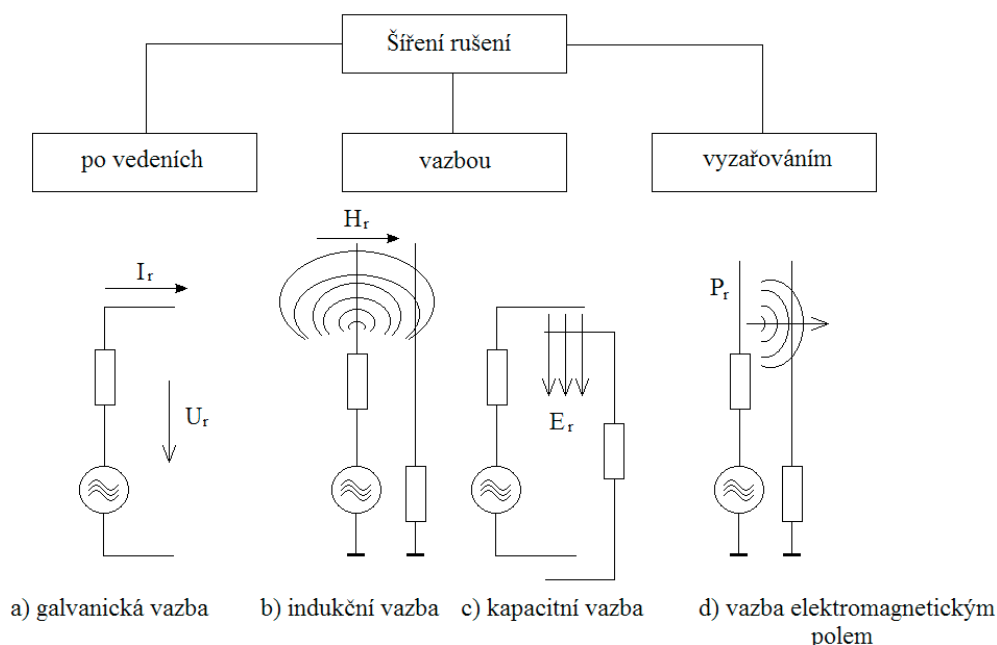
jako dielelektrická, může být taktéž zdrojem elektromagnetického šumu, který může ovlivnit všechny ostatní systémy.

### 1.5.2 Šíření rušení a elektromagnetické vazby

Každý rušivý zdroj šíří rušivou energii dvěma způsoby:

- po vedeních ve formě rušivých proudů a jimi vyvolaných rušivých napětí;
- vyzařováním ve formě elektromagnetického pole.

U průmyslových aplikací převládá zpravidla rušení po vedeních nad rušivým vyzařováním, protože tato zařízení bývají zapojována účelně krátkými spoji a jsou většinou uzavřena do kovových skříní, zpravidla zemněných. Tím se původní intenzita rušivého pole těchto zdrojů podstatně snižuje. Schematicky jsou základní způsoby šíření rušení znázorněny na obrázku 7.



Obr. 7. Základní způsoby šíření rušení.

*Galvanická vazba* vzniká vždy, když mezi zdrojem rušení a přijímačem rušení je společná impedance, která mezi těmito objekty tvoří přenosový (vazební) člen s výraznou složkou založenou na vodivosti.

*Indukční vazba* vzniká na základě principu elektromagnetické indukce mezi dvěma nebo více elektrickými obvody, protéká-li alespoň jedním z nich elektrický proud. Tento druh vazby odpovídá v podstatě funkčnímu principu transformátoru. Indukční vazba je závislá na mnoha faktorech, jako například na velikosti vzájemné indukčnosti obvodů  $M$ , vzájemné konfiguraci

a vzdálenosti mezi obvody, délce souběhu, kmitočtu rušivého proudu, permeability prostředí apod. Tato vazba je dominantní u nízkoimpedančních obvodů.

*Kapacitní vazba* se začíná více uplatňovat s růstem impedancí obvodů, tj. se zvyšujícím se kmitočtem. Tato vazba vzniká díky přítomnosti parazitních kapacit jak mezi jednotlivými vodiči, tak mezi vodiči a zemí.

*Vazba vyzářeným elektromagnetickým polem* vzniká mezi zdrojem a přijímačem rušení v těch případech, kdy vzhledem k velkým vzdálenostem je vyloučena vazba indukční a kapacitní. Rušení způsobené parazitní vazbou vyzářováním se dostává do přijímače rušení přes anténu nebo její svod. Pod pojmem anténa zde rozumíme nejen účelové zařízení, ale i část obvodu přijímače rušení, která může jako anténa sloužit. [12], [13]

### **1.5.3 Vnitřní zdroje elektromagnetického šumu specifických pro elektrizované dráhy**

#### **1.5.3.1 Statické prvky**

Trakční vedení dráhy a vedení vvn napájecí trakční stanice může být zdrojem vysokofrekvenčního nebo nízkofrekvenčního šumu.

**Mezi jevy, které se zahrnují do vysokofrekvenční emise, jsou:**

- koróna, při které ionizací neutrálních molekul v elektrickém poli těsně u vodičů dochází k vyzářování vysokofrekvenčního šumu. Tento jev může nastávat podél celého uspořádání;
- trsové výboje v místech s vysokým gradientem napětí na povrchu izolátorů;
- mikrovýboje způsobené špatným elektrickým dotykem kovových částí pod napětím. Jejich účinky jsou místní a rychle se tlumí se vzdáleností;
- částečné výboje (dílčí přeskoky) na vysušených pásech na povrchu znečištěných izolátorů.

Trakční vedení drah se liší od většiny venkovních vedení vvn a vn tím, že jsou blíže k zemi, mají více izolátorů a mají menší přirozenou samočisticí schopnost izolátorů.

Nízkofrekvenční šum může být významný v široké oblasti až do vzdálenosti 3 km (nebo i větší, pokud je měrný odpor půdy vysoký). Šum je způsobován transientně u trakčních napájecích stanic, když dochází ke spínání vn nebo vvn, a šíří se podél venkovního vedení pod napětím, zvyšuje se při nelineární zátěži, jako je napájení usměrňovačů, a je místně zvětšen, pokud dojde k přeskoku. Jestliže se používají trakční proudové soustavy stejnosměrné, objevují se harmonické kmitočty způsobené usměrňovači v měnícím (viz kapitola 1.5.4). [13]

### 1.5.3.2 Pohyblivé prvky

Pohyblivé výkonové jednotky (elektrické lokomotivy nebo vícevozové jednotky) jsou během normálního provozu zdrojem elektromagnetického šumu, který je způsoben zařízeními, jako jsou:

- výkonové regulační systémy používající řízené polovodiče jako tyristory nebo bipolární tranzistory. Ty produkují energii, která je buď přímo vyzařována součástmi vozidel, nebo nepřímo vyzařována trakčními vedeními. Venkovní vedení se může chovat jako anténa;
- pomocná zařízení v hnacím vozidle mohou mít relativně vysoké jmenovité výkony a musí být považovány za zdroje šumu;
- kluzný kontakt mezi trolejí a smykadlem trolejového sběrače. Klouzání je doprovázeno sérií krátkých oblouků, které se chovají jako vysokofrekvenční zdroje;
- zvláštní případy oblouku, které vznikají, když se trolejový sběrač zvedá nebo spouští, případně při spínání vypínačů. [13]

### 1.5.3.3 Pomocné výkonové měniče

Klimatizace vozů, elektrická zařízení pro přípravu jídel apod., mohou být napájeny prostřednictvím statických měničů. Tyto měniče mohou být v několika vozech vlaku a proto se musí uvažovat se sumací jejich šumu. [13]

### 1.5.3.4 Zpětný trakční proud s ohledem na kolejové obvody

Elektrické napájení kolejových obvodů je připojeno na kolejnice, které tvoří kolejový úsek. Vjede-li vlak do kolejového úseku, jeho nápravy zkratují (šuntují) kolejnice tohoto kolejového úseku a přijímač kolejového obvodu vyhodnotí přítomnost vlaku. Rušivý signál může ovlivnit přijímač kolejového obvodu tak, že ačkoliv vlak je přítomen, je falešně indikován volný kolejový úsek. Kolejové obvody mají mnoho forem a některé mají kmitočtové a časové kódování, aby se snížilo riziko nežádoucího ovlivnění.

Jelikož napájení vlaku může obsahovat napěťové složky o kmitočtech kolejového obvodu, vstupní impedance vlaku má být větší než stanovená hodnota. To zabrání průchodu proudů o kmitočtech kolejových obvodů v kolejnicích. Trakční a pomocná zařízení ve vozidle a v trakční napájecí stanici nesmí generovat proudy o kmitočtech kolejového obvodu, které přesáhnou stanovenou hodnotu. [13]

#### 1.5.3.5 Traťové zařízení

Elektrina se používá ve skříních podél trati pro pohony přestavníků výhybek, vytápění vlaků, a pro jiná zařízení. Ačkoliv jde o relativně malé výkony, tyto prvky jsou blízko k trati a mohou ovlivnit jiné drážní přístroje. [13]

#### 1.5.4 Rušení sdělovacích vedení stejnosměrným trakčním systémem

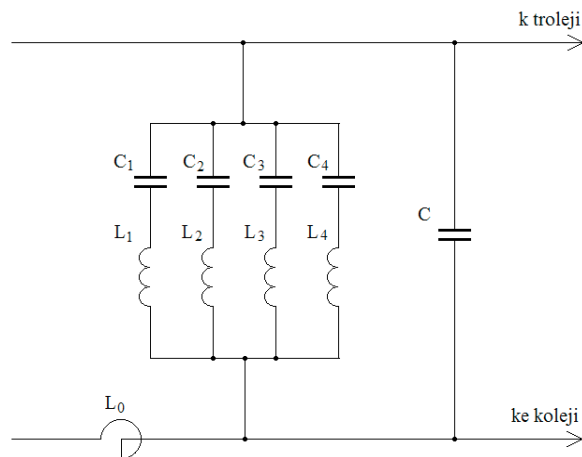
Usměrněný trakční proud obsahuje střídavou složku, která může způsobovat v důsledku elektromagnetického vlivu rušení přenosu v souběžném nadzemním sdělovacím vedení. Stejnosměrné trakční vedení můžeme považovat, z hlediska sdělovacího vedení, za fiktivní jednofázový střídavý systém, jehož kmitočet je několikrát vyšší než u běžné jednofázové střídavé soustavy.

Při třípulzním usměrnění trakčního proudu je základní kmitočet 150 Hz, při šestipulzním 300 Hz a při dvanáctipulzním 600 Hz. Vícepulzní usměrňovače dodávají proud s menší střídavou vložkou, jejich základní kmitočet je však vyšší a tím blíže oblasti, kde je zvukový vjem nejsilnější, tj. okolí kmitočtu 1000 Hz. Rušením jsou nejvíce ohrožena nadzemní sdělovací vedení.

Sdělovací vedení je rušeno vyššími harmonickými kmitočty. Aby se ve střídavé složce trakčního proudu rušení omezilo, zapojují se v měničnách rezonanční filtry, naladěné na příslušné harmonické kmitočty (viz obrázek 8). Činnost filtru je charakterizována činitelem vyhlazení  $K$ , který se rovná poměru ekvivalentních rušivých napětí před a za filtrem. Dále činitel tvaru  $F$ , tj. procentuální poměr ekvivalentního rušivého napětí na výstupu měniče k nominálnímu trakčnímu napětí. Maximální hodnota by měla být pro činitele tvaru  $F = 0,15 \%$  při  $K = 25$  a  $F = 0,11 \%$  při  $K = 50$ .

Usměrňovače s dvanáctipulzním usměrněním mají střídavou složku velmi malou, takže jejich rušivé vlivy na souběžná nadzemní sdělovací vedení jsou zanedbatelná; z toho důvodu není nutné zapojovat v těchto případech do měničů filtry. Jejich použití vyžadují usměrňovače s třípulzním a šestipulzním zapojením. Třípulzní usměrnění se vyskytuje jen ojediněle na vedlejších tratích. Běžný způsob používaný na hlavních tratích je šestipulzní usměrnění, kdy má střídavá složka základní kmitočet 300 Hz a vyšší harmonické 600, 900, 1200 Hz atd. Na tyto kmitočty jsou naladěny rezonanční obvody filtru.

Filtr pracuje tak, že každý z rezonančních obvodů je naladěn na jednu z rušících frekvencí, pro kterou má teoreticky nulový odpor a spojuje ji přes sériový reaktor nakrátko. Obvykle se používá čtyř rezonančních obvodů pro čtyři harmonické, které dosahují nejvyšších hodnot. [1]



Obr. 8. Schéma filtru.

### 1.5.5 Elektromagnetický vliv na sdělovací vedení vlivem střídavého trakčního proudu

Jednofázové trolejové vedení 25 kV, 50 Hz je typickým příkladem nesymetrického vysokonapětového vedení. Toto nesymetrické vedení způsobuje ve svém okolí elektrostatická a elektromagnetická pole, která indukují v souběžných a křížujících vedeních a kovových konstrukcích napětí a proudy, jež se mohou projevit jako rušivé nebo i nebezpečné.

Kapacitnímu vlivu podléhají pouze nadzemní vedení, nikoliv úložné kabely. Je-li vzdálenost nadzemních vedení od trakční sítě větší než 100 m, není zpravidla nutno se tímto vlivem zabývat.

Indukčnímu vlivu podléhají všechna vedení, jak nadzemní, tak kabelová. Oblast indukčního vlivu zasahuje asi 5 km na obě strany od železniční trati. [1], [11]

#### 1.5.5.1 Rušivý vliv silových vedení na telefonní vedení

V trakčních vedeních železničních tratí elektrizovaných jednofázovým systémem vznikají v důsledku rezonančních jevů vyšší harmonické složky proudu a napětí, které ruší přenos na nadzemních sdělovacích vedeních až do kmitočtu 50 kHz.

Jednotlivé složky indukovaných proudů a napětí však neruší telefonní přenos stejně. Je to způsobeno tím, že lidské ucho není na všechny kmitočty stejně citlivé. Velikost rušení posuzujeme podle hodnoty psfometrické elektromotorické síly, která udává hodnotu elektromotorické síly o kmitočtu 800 Hz, způsobující stejný subjektivní rušivý účinek jako indukovaná elektromotorická síla o kmitočtu  $f$ .

Skládá-li se rušivé napětí ze sinusových napětí o efektivních hodnotách  $U_1, U_2 \dots U_n$  a o kmitočtech  $f_1, f_2 \dots f_n$ , pak výsledná psfometrická napětí  $U_{psof}$  v telefonním okruhu, vyjadřující akustický účinek jednotlivých složek, určíme z rovnice 1.3.

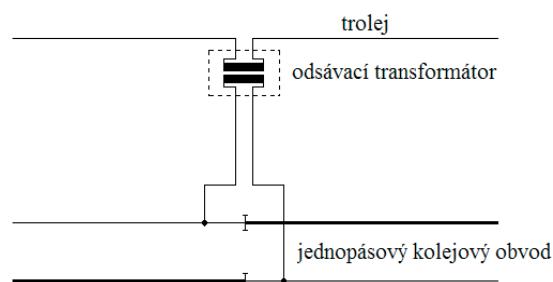
$$U_{psof} = \frac{1}{p_{800}} \cdot \sqrt{\sum (p_f \cdot U_f)^2} \quad (\text{V}) \quad (1.3)$$

kde  $p_f$  ... váhový koeficient příslušející kmitočtu  $f$ ,  $p_{800}$  ... váhový koeficient příslušející kmitočtu 800 Hz,  $U_f$  ... složka rušícího napětí o kmitočtu  $f$  (V),  $U_{psof}$  ... psofometrické napětí, což je napětí měřené psofometrem mezi dvěma body vedení nebo zařízení.

Podle normy ČSN 34 2040 se doporučuje, aby elektromotorická psofometrická síla vyvolaná elektrostatickým a elektromagnetickým polem při normálním provozním stavu trakčního vedení nebyla v kabelovém vedení větší než 1 mV a v nadzemním vedení větší než 2 mV.

Jako ochranné opatření v zařízeních elektrické trakce mají být jednotlivé úseky trakčního vedení napájeny ze dvou stran.

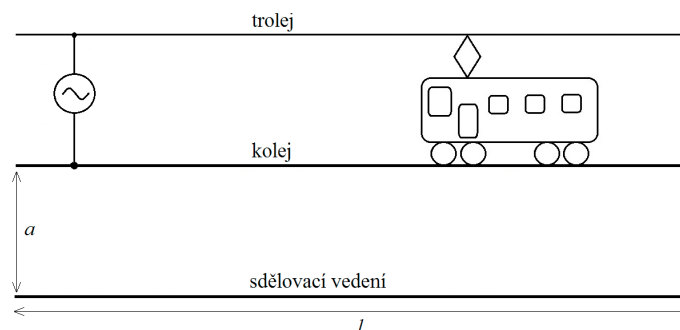
Jestliže se měřením zjistí, že vliv ekvivalentních rušivých proudů nelze hospodárně omezit na straně sdělovacího vedení, provedou se dodatečně v trakčních zařízeních opatření k vyhlazení rezonančních kmitů, např. vestavění filtrů nebo útlumových článků. [1], [11]



Obr. 9. Schéma zapojení odsávacího transformátoru na trati s jednopásovým kolejovým obvodem.

### 1.5.5.2 Výpočet elektromagnetického vlivu

Střídavý proud protékající trolejovým vedením, vytváří časově proměnné elektromagnetické pole. Schéma souběhu pro výpočet elektromagnetického vlivu je naznačeno na obrázku 10.



Obr. 10. Schéma souběhu pro výpočet elektromagnetického vlivu.

Ve vodičích sdělovacích vedení, které je v souběhu s trakčním vedením, jak je naznačeno na obrázku 14, se indukují podélná elektromotorická síla opačného smyslu než proud, který ji vyvolal (vztah 1.4).

$$e_M = -M \cdot \frac{di}{dt} \quad (1.4)$$

kde  $e_M$  ... podélná elektromotorická síla,  $M$  ... koeficient vzájemné indukčnosti mezi trolejí a sdělovacím vodičem,  $i$  ... časově proměnný proud. Koeficient vzájemné indukčnosti  $M$  se určuje z nomogramů v závislosti na parametru  $x$  (vztah 1.5).

$$x = a \cdot \sqrt{10 \cdot \sigma \cdot f} \quad (1.5)$$

kde  $a$  ... vzdálenost souběžných vedení,  $\sigma$  ... střední vodivost země,  $f$  ... kmitočet proudu. [1]

## 2 Ochrany úložných zařízení

### 2.1 Možnosti omezení vzniku bludných proudů

Ke snížení úniku proudu z elektrizovaných drah je možné provést několik opatření.

#### *a) Zvýšení přechodového odporu mezi kolejemi a zemí*

Podle normy ČSN EN 50122-2 musí být měrná svodová vodivost  $G$  pro jednokolejnou širou trať  $0,5 \text{ S.km}^{-1}$ . Pro uzavřené systémy hromadné dopravy pak  $2,5 \text{ S.km}^{-1}$ . Tyto hodnoty mohou být dosaženy za předpokladu, že:

- je čisté kolejové lože;
- jsou dřevěné nebo betonové pražce s izolovaným upevňovacím systémem;
- je přiměřené čištění prostoru mezi kolejnicemi a kolejovým ložem;
- je účinná odvodňovací drenáž.

#### *b) Zvýšení elektrické vodivosti kolejí*

Podélný odpor zpětného kolejnicového vedení musí být co nejnižší, proto musí být kolejnice svařeny nebo propojeny kolejnicovými spojkami tak, aby se celkový podélný odpor kolejnic nezvýšil o více než 5 %. Tohoto zmenšení dosáhneme těmito způsoby:

- použitím kolejnice většího průřezu;
- příčným propojením kolejnic nebo kolejí;
- dalším kabelem vedeným paralelně s tratí.

#### *c) Minimalizace vzdálenosti napájecích stanic*

Menší vzdálenost trakčních měníren mezi sebou znamená menší odpor trakčního obvodu a tím i menší unikající proud do země.

#### *d) Volba způsobu napájení trakční sítě*

Nejméně vhodné je jednostranné napájení. Při něm tečou proudy do hnacího vozidla pouze jednou cestou. Nejvýhodnější napájení je čtyřstranné, kdy mohou být vzájemně propojeny sousední koleje, čímž se vodivý průřez kolejí zvětší několikanásobně.



*e) Provozovat napájecí soustavu s co největším napětím*

Z hlediska trakčních proudů je výhodné přenášet výkony s co největším napětím a tím minimalizovat proudy v kolejnicích, což povede k minimalizaci bludných proudů. [1], [5], [8], [10]

## **2.2 Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami**

### **2.2.1 Pasivní ochrana**

Pasivní ochranou se rozumí opatření, která omezují vstup a výstup bludných proudů do zařízení a ze zařízení nebo omezují tok proudu přes něj. Jsou to např.:

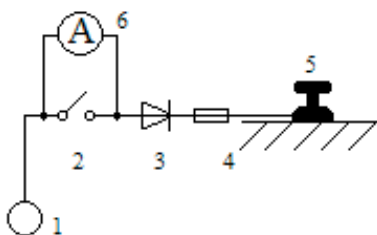
- Různé druhy izolací jako jsou asfaltové, z plastických hmot nebo speciální izolace.
- Stavební ochrana, která může být provedena uložením kabelů do kanálů.
- Obsypávání úložného zařízení nevodivou zeminou, pískem nebo štěrkem.
- Volba trasy úložného zařízení co nejdále od zdrojů bludných proudů a v zemině s co největší vodivostí. [5]

### **2.2.2 Aktivní ochrana**

#### **2.2.2.1 Elektrická drenáž**

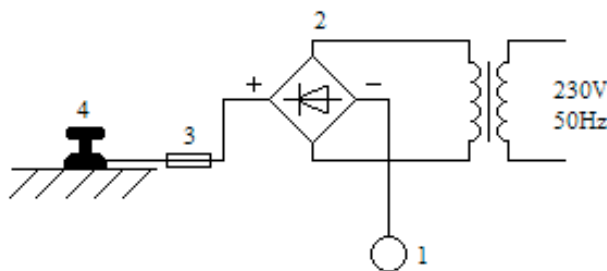
Cílem tohoto opatření je odvést proud, který pronikl do úložného zařízení jinou cestou než přímým přechodem z povrchu kovového zařízení do země. Lze toho dosáhnout doplňovacím uzemněním nebo různými druhy elektrických drenáží.

*Elektrická polarizovaná drenáž* zaručuje, že při změně provozních podmínek zdroje bludných proudů nedojde ke zpětnému toku proudu z kolejnice do úložného zařízení. Do drenážního obvodu je vřazen polovodičový ventil (např. křemíkové diody) zapojený jako jednocestný usměrňovač. Schematicky je toto zapojení znázorněno na obrázku 11, kde 1 ... chráněné potrubí, 2 ... vypínač, 3 ... dioda, 4 ... proudová pojistka, 5 ... kolejnice, 6 ... ampérmetr.



Obr. 11. Schéma elektrické polarizované drenáže.

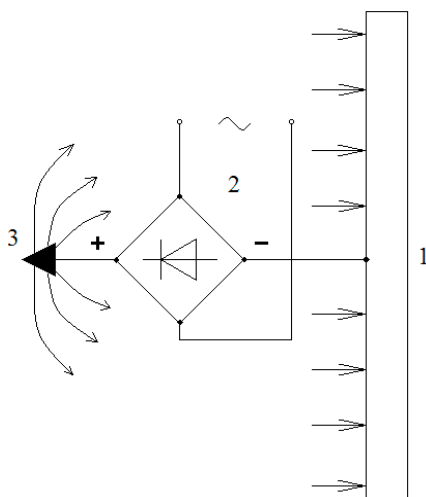
*Zesílená elektrická polarizovaná drenáž* se používá tam, kde se použitím polarizované elektrické drenáže nedosáhne v místě připojení dostatečně záporného potenciálu potrubí – půda. Je to stanice katodické ochrany zapojená mezi koleje a potrubí tak, aby spojením procházel bludný proud vystupující z chráněného potrubí, který je patřičně zvětšován přídavným ochranným proudem z usměrňovače. Velikost celkového proudu v obvodu zesílené drenáže je volen tak, aby bylo dosaženo dostatečné ochrany potrubí. Schematicky je toto zapojení znázorněno na obrázku 12, kde 1 ... chráněné potrubí, 2 ... usměrňující ventil s pomocným zdrojem stejnosměrného proudu, 3 ... proudová pojistka, 4 ... kolejnice. [1], [6], [9]



Obr. 12. Schéma zesílené polarizované drenáže.

#### 2.2.2.2 Katodická ochrana s úložnou anodou

Katodická ochrana se provádí tak, že kabelový plášť připojíme na záporný pól zdroje stejnosměrného proudu a jeho kladný pól na uzemněnou kovovou hmotu, která slouží jako anoda. Zemnič katodické ochrany může být proveden z libovolného kovu, nejpoužívanější je železo. K tomuto účelu lze použít starého materiálu, jako litinových rour, kusů kolejnic apod. Jelikož odpor anody vždy převažuje, je nutno, aby měla pokud možno malý odpor uzemnění (řádu 1  $\Omega$ ). Schéma zapojení je na obrázku 13, kde 1 ... chráněné potrubí, 2 ... usměrňovač s napájecím zdrojem, 3 ... uzemnění (anoda).



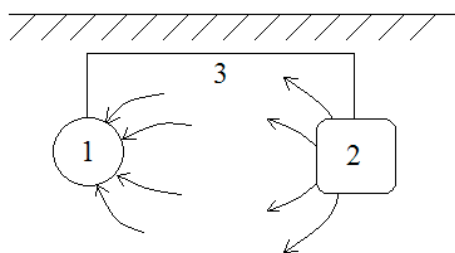
Obr. 13. Schéma katodické ochrany s úložnou anodou.

Katodická ochrana je u nás nejrozšířenější, používá se především při ochraně plynovodů, ropovodů a vodovodních řádů. Pracovní napětí bývá 10 až 50 V a odebírané proudy 10 až 50 A, výkon se na stejnosměrné straně pohybuje v rozmezí 100 až 2500 W. Používání aktivních ochran, které vyžadují připojení ke kolejnicím je omezeno hlavně případnými negativními vlivy na kolejové zabezpečovací obvody. [1], [5]

### 2.2.2.3 Ochrana reakční (obětní) anodou

U této ochrany se používá galvanických anod, které se ukládají v blízkosti kabelové trasy do země a spojují se s izolovaným vodičem s chráněným úložným zařízením. Takto se vytvoří člunek, ve kterém úložné zařízení přebírá funkci stálé katody a obětní elektroda funkci anody. Pro reakční anodu lze použít hořčíku, hliníku nebo zinku. Nejčastěji se používá hořčíku, jehož elektrochemický potenciál je -2,35 V. Elektromotorická síla galvanického člunku s reakční anodou je obvykle nízká a z toho důvodu se tato metoda nehodí k ochraně úložných zařízení, kde je vysoká hustota zemních proudů, tedy v blízkosti elektrizovaných drah.

Schéma zapojení je na obrázku 14, kde 1 ... chráněné zařízení, 2 ... obětní anoda, 3 ... izolovaný vodič. [1], [5]



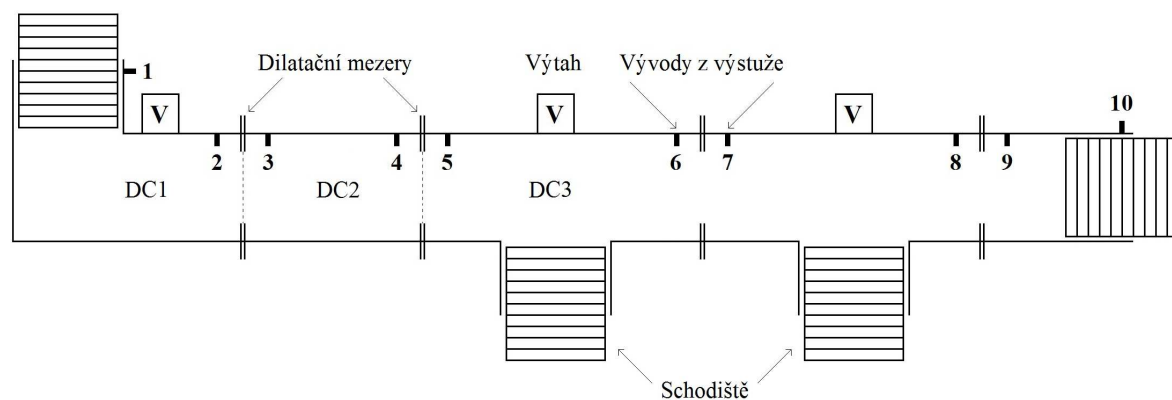
Obr. 14. Schéma ochrany s obětní anodou.

### 3 Měření na vybraném objektu

Za objekt pro posouzení vlivu bludných proudů byl vybrán železniční podchod ve Studénce.

Rekonstrukce stanice Studénka byla zahrnuta do modernizace traťového úseku Hranice na Moravě – Studénka s termínem realizace od dubna 2001 do června 2004. Rekonstrukce zahrnovala výstavbu nové výpravní budovy a úplnou peronizaci osobního nádraží, tzn. vybudování dvou ostrovních nástupišť o délce 400 m a nového bíloveckého nástupiště, vzájemně spojených novým podchodem.

Délka hlavního tubusu podchodu je cca 80 m, světlá výška je vždy minimálně 2,5 m. Situační schéma železničního podchodu je zobrazeno na obrázku 15.



Obr. 15. Situační schéma železničního podchodu ve Studénce.

#### 3.1 Postup při měření potenciálu na vybraném objektu

1. Měření spojitosti dilatačních celků.
2. Měření potenciálu podchod-zem, kolej-zem.
3. Vyhodnocení naměřených hodnot.
4. Stanovení ochranných opatření pro omezení účinků bludných proudů.

Měření bylo provedeno dne 16. 3. 2011.

##### Podmínky měření:

- začátek měření potenciálu 9:56, konec měření 11:12,
- teplota ovzduší: + 5 °C,
- půda mokrá.

### 3.1.1 Měření spojitosti dilatačních celků

Podchod je rozdělen do pěti dilatačních celků (1-2, 3-4, 5-6, 7-8, 9-10) délky od 10 m do 20 m. Vývody z výztuže, tzv. měřicí vývody (1, 2, 3, ..., 9, 10) pro potřeby měření jsou vyvedeny na povrch konstrukce, aby k nim bylo možno připojit měřicí přístroje.

Měření spojitosti výztuže bylo zjištěno galvanické spojení (svaření) dilatačních celků 5-6, 7-8, 9-10 viz tabulka 3.1. K měření byl použit měřič zemních odporů PU183.

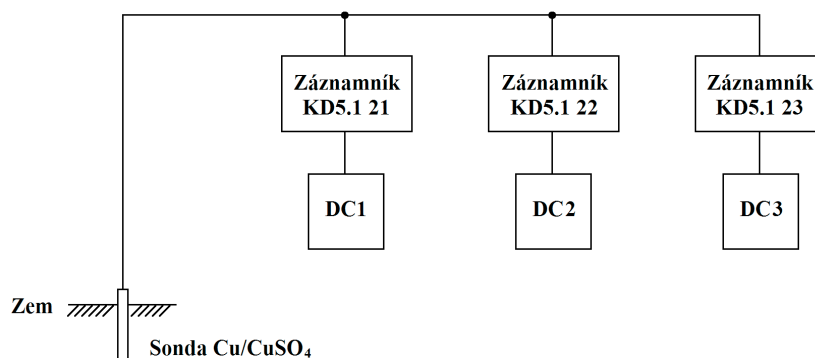
| Označení úseku | Naměřená hodnota [ $\Omega$ ] |
|----------------|-------------------------------|
| 2-3            | 13,3                          |
| 4-5            | 13,1                          |
| 6-7            | 0                             |
| 8-9            | 0                             |

Tabulka 3.1 Naměřené hodnoty spojitosti dilatačních celků.

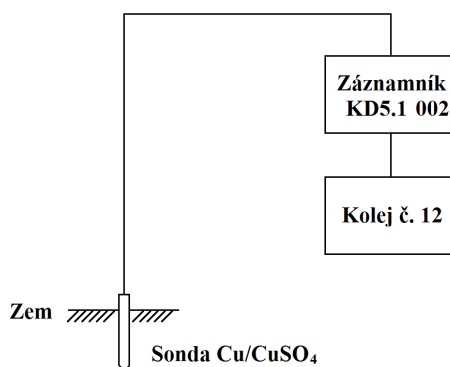
Pro potřebu měření elektrického potenciálu byly označeny dilatační celky DC1 (úsek 1-2), DC2 (úsek 3-4), DC3 (úsek 5-10).

### 3.1.2 Měření potenciálu podchod-zem, kolej – zem

Pro měření elektrického potenciálu byl na každý dilatační celek DC1, DC2 a DC3 připojen přes tzv. měřicí vývod záznamník systému KORODAT, který snímal průběh potenciálu vůči elektrodě Cu/CuSO<sub>4</sub> umístěné v zemi (obrázek 16). Toto zapojení se provedlo i pro jednu kolej, konkrétně kolej č.12 (obrázek 17).



Obr. 16. Blokové schéma zapojení záznamníku KORODAT k dilatačním celkům podchodu.



Obr. 17. Blokové schéma zapojení záznamníku KORODAT ke koleji.

## 3.2 Použité měřicí přístroje

### 3.2.1 Měřič zemních odporů PU183

Přístroj je určen pro měření odporů zemničů a zemnicích soustav, měření rezistivity půdy a měření ohmických odporů. Mezi výhody tohoto přístroje patří ochrana vstupních a výstupních svorek, nezávislost na síťovém napájení, snadná obsluha. [17]



Obr. 18. Měřič zemních odporů PU183.

### 3.2.2 Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub>

Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub> je určená na měření v oblasti katodové protikoroze ochrany úložných zařízení. Je malá, lehce skladovatelná a elektrolyt z ní nevytéká.

Elektroda se skládá z průhledné trubice, kde na jejím horním konci je zalitá Cu (měděná) tyč, která sahá do vnitřní části elektrody a je obklopena elektrolytem. Spodní část elektrody tvoří keramický hrot kuželovitého tvaru. Během měření se vtlačí do půdy a svou pórovitostí zabezpečuje vodivý kontakt elektrody s půdním elektrolytem.



Obr. 19. Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub>.

Jako náplň do elektrod se používá nasycený roztok síranu měďnatého CuSO<sub>4</sub> v destilované vodě. Síran měďnatý, známý pod názvem modrá skalice, dříve i jako modrý vitriol, je nejběžnější sloučenina mědi. V bezvodném stavu tvoří bílý prášek, který přijímáním vody modrá. Při teplotách nižších než 0 °C však tento roztok zamrzá a proto se v případě použití elektrod v zimním období elektrolyt zamění za nemrznoucí roztok, jehož základem je glycerín, který podstatně snižuje bod tuhnutí výsledné směsi. [15]



Obr. 20. Přenosná referenční elektroda Cu/CuSO<sub>4</sub> naplněna síranem měďnatým.

### 3.2.3 Systém KORODAT

Systém KORODAT je určen pro měření potenciálu a proudu při korozním průzkumu. Systém KORODAT sestává z elektronického záznamníku KD, servisního modulu KM s LCD displejem pro indikaci měřených hodnot, osobního počítače a speciálního programového vybavení. Vyhodnocení a archivace naměřených hodnot se provádí pomocí osobního počítače. Záznamník KD je mikroprocesorem řízený elektronický záznamník, který umožňuje nepřetržité měření a záznam po dobu až dva měsíce.

Pomocí záznamníku lze měřit a registrovat např.:

- potenciál úložného zařízení – půda,
- proudové pole (přepočtem z napětí mezi dvěma elektrodami),
- proud mezi pomocnou ocelovou elektrodou a úložnou konstrukcí,
- pomocí vnějšího bočníku libovolný proud (proud měnící ČD, drenážní proud),
- pomocí děliče napětí libovolné napětí. [16]



## 4 Vyhodnocení měření

Měření potenciálu bylo zaznamenáváno po dobu jedné hodiny a to od 9:56 do 11:12. Během této doby byl získán průběh potenciálu jednotlivých dilatačních úseků a koleje proti zemi.

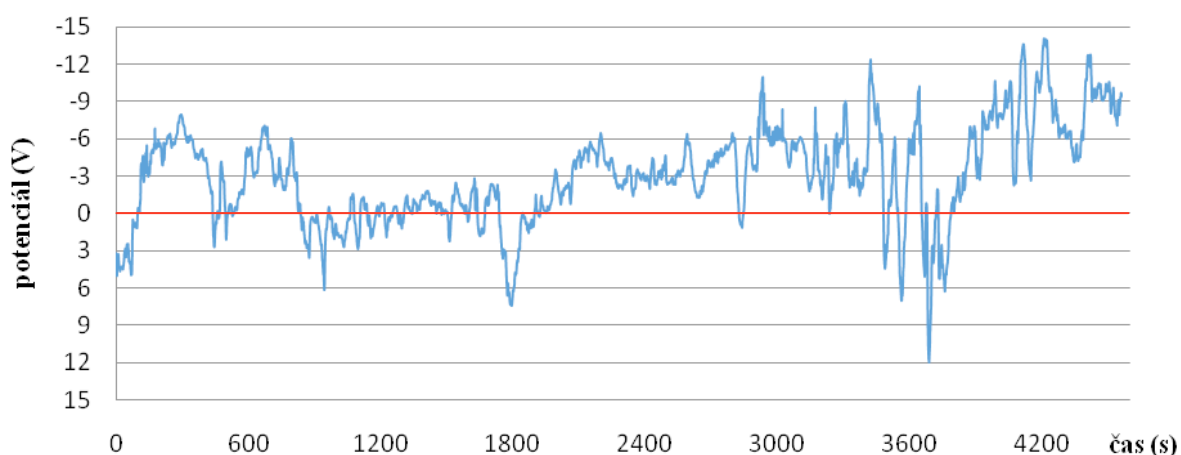
Při elektrickém ovlivnění cizím stejnosměrným proudem (bludným proudem) se potenciál konstrukce posouvá v kladném (anodickém) nebo záporném (katodickém) směru tam, kde proud z kovového povrchu vystupuje nebo do něj vstupuje. V místě, kde stejnosměrný bludný proud z kovové konstrukce vystupuje, dochází na rozhraní kov – elektrolyt k anodické korozní reakci, která má za následek oxidaci (rozpuštění) kovu, jak vyplývá z Faradayova elektrolytického zákona (viz kapitola 1.4.2 Koroze bludnými proudy). [18]

### 4.1 Časové průběhy potenciálu DC – elektroda

Měřicí systém KORODAT byl zapojen podle obrázku 16. Časové průběhy získané měřením jsou na obrázcích 20, 21 a 22.

#### 4.1.1 Časový průběh potenciálu DC1 – elektroda

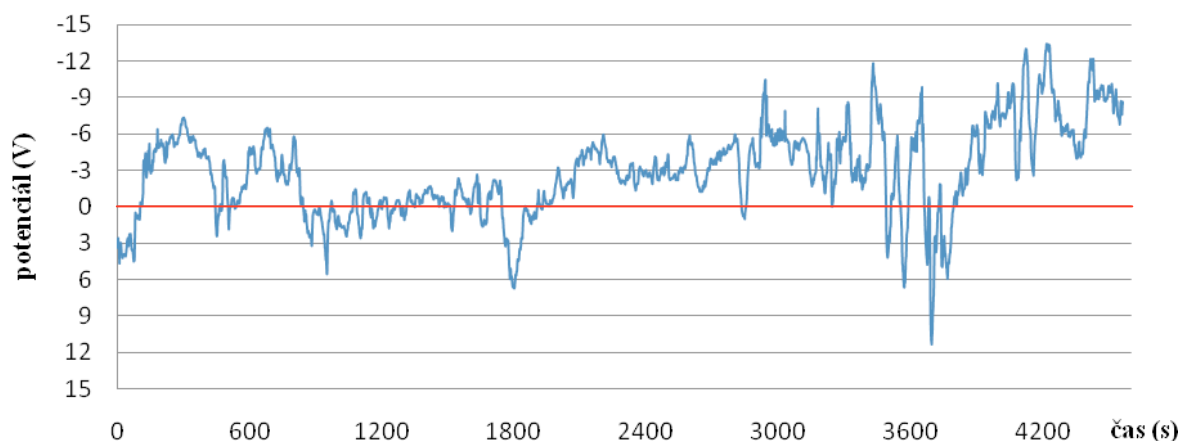
|                   |         |                 |                |
|-------------------|---------|-----------------|----------------|
| Průměrná hodnota  | -3,07 V | Limitní hodnota | 0,0 V          |
| Minimální hodnota | -14,1 V | Chráněno        | 80 % / -4,39 V |
| Maximální hodnota | 11,9 V  | Nechráněno      | 20 % / 2,22 V  |



Obr. 21. Průběh potenciálu DC1 – elektroda.

#### 4.1.2 Časový průběh potenciálu DC2 – elektroda

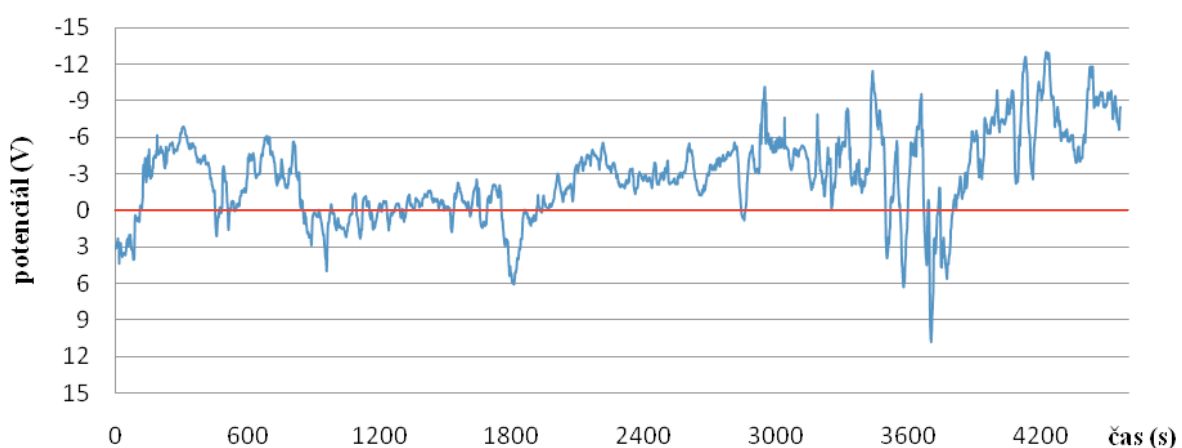
|                   |         |                 |                 |
|-------------------|---------|-----------------|-----------------|
| Průměrná hodnota  | -2,86 V | Limitní hodnota | 0,0 V           |
| Minimální hodnota | -13,5 V | Chráněno        | 79,7 % / -4,12V |
| Maximální hodnota | 11,4 V  | Nechráněno      | 20,3 % / 2,07 V |



Obr. 22. Průběh potenciálu DC2 – elektroda.

#### 4.1.3 Časový průběh potenciálu DC3 – elektroda

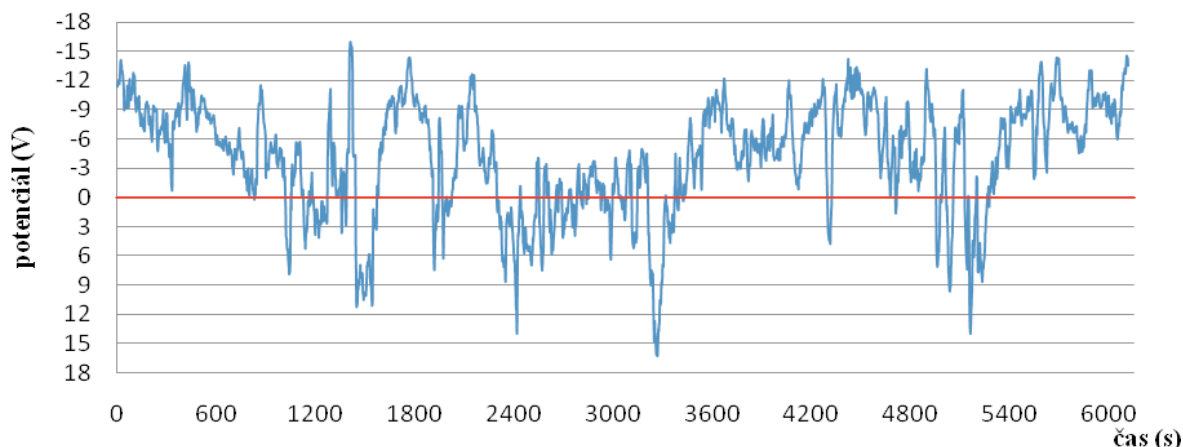
|                   |         |                 |                  |
|-------------------|---------|-----------------|------------------|
| Průměrná hodnota  | -2,80 V | Limitní hodnota | 0,0 V            |
| Minimální hodnota | -13,0 V | Chráněno        | 80,3 % / -3,96 V |
| Maximální hodnota | 10,8 V  | Nechráněno      | 19,7 % / 1,90 V  |



Obr. 23. Průběh potenciálu DC3 – elektroda.

## 4.2 Časový průběh potenciálu kolej – elektroda

|                   |         |                 |                  |
|-------------------|---------|-----------------|------------------|
| Průměrná hodnota  | -4,25 V | Limitní hodnota | 0,0 V            |
| Minimální hodnota | -16,0 V | Chráněno        | 78,2 % / -6,64 V |
| Maximální hodnota | 16,3 V  | Nechráněno      | 21,8 % / 4,2 V   |



Obr. 24. Průběh potenciálu kolej – elektroda.

## 4.3 Návrh ochranných opatření pro omezení vlivu bludných proudů

Z průběhů je patrný silný vliv bludných proudů. Nejpravděpodobnější příčinou tohoto nepříznivého stavu může být vadná průrazka na kterékoli ukolejné neživé části trakčního vedení v blízkosti měřeného podchodu.

Průrazka je určena pro ochranu před nebezpečným dotykovým napětím v případě poruchy a současně slouží ke galvanickému oddělení chráněných částí od zpětného kolejnicového vedení. Průrazka vytvoří vodivé spojení chráněných částí se zpětným kolejnicovým vedením při výskytu vyššího než zapalovacího napětí průrazky. [19]

Je nutno zkontrolovat funkčnost všech průrazek, zda některá z vadných průrazek nespojuje chráněnou neživou část se zpětným kolejnicovým vedením. Pokud by došlo ke spojení, je ohrožena bezpečnost osob a mohlo by dojít k úrazu elektrickým proudem.

Dotyková napětí, která mohou při zkratu vzniknout, musí vyhovovat hodnotám uvedeným v ČSN EN 50122-1. [20]

Hlavním ochranným opatřením pro omezení vlivu bludných proudů jsou základní pasivní ochranná opatření, která se dělí na:

- primární ochranu,
- sekundární ochranu,
- konstrukční opatření.

#### **4.3.1 Primární ochrana**

Pasivní ochranná opatření se navrhují v rámci dokumentace nové nebo rekonstruované stavby.

- Musí být dodrženo předepsané krytí výztuže betonu, použití betonu s vyšší odolností dle ČSN EN 206-1. Trhliny v betonu nesmí překročit 0,2 mm, další požadavky stanovuje norma ČSN P ENV 13670-1, ČSN 73 1209, ČSN EN 206-1, ČSN 73 6206. [14]
- Jedná-li se o běžný typ půdy, ornice, jíl, o střední rezistivitu  $\rho = 100 \Omega.m$ , to odpovídá středně agresivní půdě, tzn. stupni agresivity III. podle ČSN 34 1390. V závislosti na stupni agresivity půdy III. je vhodný beton se stupněm vlivu prostředí XA2, který je vystaven chemickému napadení, přírodní zemina a spodní voda. Pevnostní třída betonu je C30/37. [21]
- Za vyhovující krytí výztuže na vnějších stěnách ve styku se zeminou je považováno minimálně 50 mm. [14]

#### **4.3.2 Sekundární ochrana**

Sekundární ochranou spodní stavby – betonové konstrukce – z hlediska ochrany před účinky bludných proudů se rozumí zejména ochranné systémy před agresivními vlivy zemin, před zemní vlhkostí, tlakovou vodou a klimatickými vlivy. Pro vodotěsnou vrstvu se navrhují materiály v celé ploše styku chráněné stavby se zeminou z elektricky nevodivých materiálů v podobě natavovacích pásů a vysoce pevnostních a pružných svařovaných fólií.

- Materiály pro vodotěsné izolace (pevné fóliové bezešvé), které se využijí i pro účely ochrany stavby před účinky bludných proudů, musí vykazovat měrný odpor  $1 \cdot 10^{12} \Omega.m$ .
- Je zakázáno používat izolační pásy s elektricky vodivými vložkami. [14]

#### **4.3.3 Konstrukční opatření**

Hlavní zásadou konstrukčních opatření je z korozního (elektrochemického) hlediska minimalizovat vhodným pospojování výztuže tvorbu makro a mikro článků na úrovni

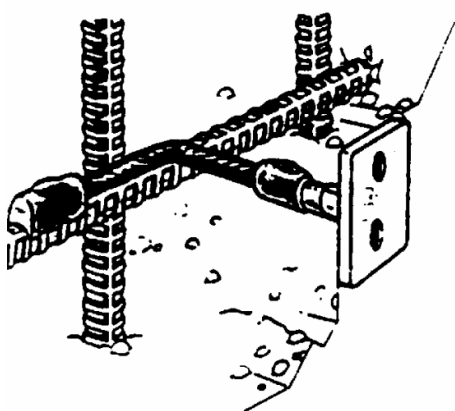
výztuž – beton – výztuž, elektrickým oddělením jednotlivých částí stavby eliminovat průchod bludných proudů, případně řízeně odvádět proudy z konstrukce.

Konstrukční opatření se dělí dle typu konstrukcí, navrhovaných prvků stavby, ale zejména dle stupně ochranných opatření. Podle [14] rozlišujeme pět stupňů ochranných opatření.

Železniční podchod ve Studénce spadá do stupně ochranného opatření č. 4.

Stupeň ochranného opatření č. 4 je charakteristický pro většinu území s výskytem elektrizovaných trakčních soustav, lokalit s průmyslovou zástavbou, elektrizovanou městskou dopravou, obvykle s velkou hustotou osídlení (existence liniových řadů a interference a distribuce bludných proudů po území). V tomto stupni se plně uplatní systém ochranných opatření včetně provaření výztuže a její vyvedení pro účely kontrolních měření a dodatečných opatření. [14]

- Ochranné opatření zabráňující vznik koroze přechodem bludného proudu mezi výztužemi spočívá v elektrickém spojení výztuží svarem.
- Při zařazení stavby železničního spodku do stupně č. 4 a č. 5 ochranných opatření se provařené výztuže vyvedou, tzv. měřicí vývody na povrch konstrukce. Měřicí vývod je proveden pomocí ocelových destiček opatřených zdírkou pro připojení měřicího přístroje (obrázek 25.). [14]



Obr. 25. Příklad provedení vývodu z výztuže.

Použití aktivních ochran na stavbách železničního spodku se navrhuje pouze ve výjimečných případech, pokud výsledky elektrických a geofyzikálních měření a dalších diagnostických měření stavby prokáží ve vztahu k pasivačním schopnostem výztuže v betonu nezbytnost použití takové ochrany. [14]

Kdyby se měřením prokázala funkčnost všech průřezů, bylo by nutno jako opatření proti omezení vlivu bludných proudů využít ochranu obětní (reakční) anodou (kapitola 2.2.2.3).

## **Závěr**

Cílem této diplomové práce je posouzení vlivu bludných proudů na vybraném objektu, podchodu ve Studénce.

Bylo provedeno měření potenciálu na železobetonové konstrukci podchodu, kde výsledkem jsou časové průběhy potenciálu dilatačních částí podchodu vůči zemi.

Z naměřených průběhů je patrný silný vliv bludných proudů. Nejpravděpodobnější příčinou tohoto nepříznivého stavu může být vadná průrazka na kterékoli ukolejné neživé části trakčního vedení v blízkosti měřeného podchodu.

Jako ochranná opatření proti nepříznivým účinkům bludných proudů se navrhuje opatření již ve stádiu dokumentace stavby. Hlavním ochranným opatřením pro omezení vlivu bludných proudů jsou základní pasivní ochranná opatření, která se dělí na:

- primární ochranu,
- sekundární ochranu,
- konstrukční opatření.

Použití aktivních ochran na stavbách železničního spodku se navrhuje pouze ve výjimečných případech, pokud výsledky elektrických a geofyzikálních měření a dalších diagnostických měření stavby prokážou ve vztahu k pasivačním schopnostem výztuže v betonu nezbytnost použití takové ochrany. [14]

Kdyby se prokázala funkčnost všech průrazek, bylo by nutno jako opatření proti omezení vlivu bludných proudů využít ochranu obětní (reakční) anodou (kapitola 2.2.2.3).

Pokud by nebylo provedeno žádné dodatečné ochranné opatření, hrozí nebezpečí oslabení výztuže železobetonové konstrukce, popraskání betonu a ohrožení osob nacházejících se v objektu.

## Liteatura

- [1] VIKTORIN, J.: *Vlivy elektrických trakčních systémů na sdělovací a zabezpečovací zařízení*, Praha, 1971, OD-31-023-71, 232 stran.
- [2] BOUDA, V. a kol.: *Vlastnosti a technologie materiálů*. Skripta FEL ČVUT Praha, 1993.
- [3] *Železniční napájecí soustava*. Dostupné z WWW:  
< [http://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční\\_napájecí\\_soustava](http://cs.wikipedia.org/wiki/Železniční_napájecí_soustava) >
- [4] PALEČEK, J.: *Elektroenergetika v dopravě*, přednášky z předmětu, Ostrava.
- [5] KOUDELKA, C.: *Bludné proudy*, Ostrava, 2003, dostupné z WWW:  
< [http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne\\_proudy.pdf](http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/TZB/bludne_proudy.pdf) >
- [6] BARTONÍČEK, R. a kol.: *Koroze a protikorozní ochrana kovů*, Academia, Praha, 1966. ISBN 21-037-66. 719 stran.
- [7] ČSN EN 50122-1: *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Část 1: Ochranná opatření vztahující se na elektrickou bezpečnost a uzemňování*, 2000.
- [8] ČSN EN 50122-2: *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Část 2: Ochranná opatření proti účinkům bludných proudů, způsobených DC trakčními proudovými soustavami*, 2001.
- [9] POLÁK, J.: *Katodická protikorozní ochrana a způsoby snižování koroze bludnými proudy*, Chemoprojekt Praha, 1992, 614 stran.
- [10] ČSN 03 8350: *Požadavky na protikorozní ochranu úložných zařízení*, 1996.
- [11] ČSN 34 2040: *Předpisy pro ochranu sdělovacích a zabezpečovacích vedení a zařízení před nebezpečnými a rušivými vlivy elektrické trakce 25 kV, 50 Hz*, 1968.
- [12] VACULÍKOVÁ, P, VACULÍK, E. a kol.: *Elektromagnetická kompatibilita elektrotechnických systémů*, Grada Publishing, spol. s.r.o., Praha, 1998. ISBN 80-7169-568-8. 504 stran.
- [13] ČSN EN 50121-1 ed. 2: *Drážní zařízení – Elektromagnetická kompatibilita – Část 1: Všeobecně*, 2007.
- [14] SŽDC SR 5/7 (S): *Služební rukověť: Ochranná opatření proti omezení vlivu bludných proudů staveb železničního spodku*, 2009.
- [15] *Prenosné referenčné elektródy Cu/CuSO<sub>4</sub>*. Dostupné z WWW:  
< [http://www.kormat.sk/prenosne\\_referencne\\_elektrody](http://www.kormat.sk/prenosne_referencne_elektrody) >

- [16] NOVOTNÝ, T., RADA, P.: *Systém KORODAT*. Dostupné z WWW:  
< <http://www.ateko.info/download/1995/PřednáškaNovotný,Rada.pdf> >
- [17] *Měřicí přístroje pro měření zemních odporů*. Dostupné z WWW:  
< <http://www.awv.cz/kat-revize/revizni.pdf> >
- [18] ČSN EN 50162: *Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav*, 2005.
- [19] *Průrazka HGS 150RW 250 V / 500 V*. Dostupné z WWW:  
< [http://www.elzel.cz/images/texts/Prurazka\\_CZ.pdf?PHPSESSID=b5bb50](http://www.elzel.cz/images/texts/Prurazka_CZ.pdf?PHPSESSID=b5bb50) >
- [20] ČSN 34 1500: *Drážní zařízení – Pevná trakční zařízení – Předpisy pro elektrická trakční zařízení*, 2009.
- [21] *Stupně vlivu prostředí pro beton dle EN 206-1*. Dostupné z WWW:  
< <http://www.mizici.com/article.php?aid=307> >
- [22] *Historie našich železnic v kostce*. Dostupné z WWW:  
< <http://www.szdc.cz/o-nas/zeleznice-cr/historie-zeleznice-v-cr.pdf> >